

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Měření a vyhodnocování nízkých
hladin osvětleností a jasů**

**Low level measurement and evaluation
of Illuminance and luminance**

2011

Bc. Petr Pyszko

Zadání bakalářky

Diplomová práce – návrh zadání a obsahu

Bc. Pyszko Petr

Měření a vyhodnocování nízkých hladin osvětleností a jasů

Low level measurement and evaluation of Illuminance and luminance

Obsah diplomové práce:

- Vidění při nízkých hladinách jasu.
- Měřicí přístroje pro vyhodnocování nízkých jasů.
- Přizpůsobení astronomické kamery na citlivost lidského oka.
- Návrh měřicí aparatury pro dlouhodobá měření jasů noční oblohy.
- Měření jasů noční oblohy ve vybrané lokalitě.
- Vyhodnocení dynamiky jasů noční oblohy.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem literární zdroje a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 6. května 2011

.....

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Tomáši Novákovi, Ph.D. za vedení této diplomové práce, cenné rady, připomínky a inspiraci.

Prof. Ing. Karlu Sokanskému, Csc. děkuji za rady a pomoc při zpracování teoretické části diplomové práce.

Děkuji Ing. Petru Závadovi za pomoc, rady a poskytnutí některých podkladů.

Rovněž patří můj dík rodičům za podporu při studiu a tvorbu potřebného zázemí.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou měření a vyhodnocování nízkých hladin osvětleností a jasů. V teoretické části je zmínka o zrakovém vnímání člověka, dále jsou zde popsány měřicí přístroje a programy pro vyhodnocování nízkých jasů. Následuje také pár slov o přizpůsobení CCD kamery lidskému zraku pomocí optického filtru a vytvoření měřicí aparatury pro dlouhodobá měření jasů noční oblohy s již zmíněnou kamerou.

Praktická část je zaměřena na měření noční oblohy pomocí jasového analyzátoru LMK mobile advanced a následným vyhodnocením tohoto měření.

Klíčová slova: lidský zrak, jas, jasový analyzátor, LMK2000, LumiDISP, CCD, CMOS, kamera (fotoaparát),

Abstract

This thesis deals with measuring and evaluating low levels of illuminance and luminance. The theoretical part is the mention of the visual perception of humans, as described here (the next step is description of) measuring instruments and programs for the evaluation of low luminances. Here (after that follows) a few words about the adaptation of human vision CCD camera with an optical filter and a measuring apparatus for measuring long-term night-sky luminescence with the previously mentioned camera.

The practical part is aimed at measuring the night sky luminance with LMK mobile advanced analyzer and subsequent evaluation of the measurement.

Key words: human vision, luminance, luminance analyser, LMK2000, LumiDISP, CCD, CMOS, camera

Použité symboly a zkratky

A/D	Analog/Digital
ABG	Anti blooming gate v překladu (proti ztrátová elektroda)
CCD	Charge-Coupled Device v překladu (zařízení s vázanými náboji)
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor v překladu (kov-oxid-polovodič)
EOS	Electronic and Optical Systém v překladu (elektronický a optický systém)
GPS	Global Positioning Systém v překladu (celosvětový polohový systém)
JPEG	Joint Photographic Experts Group
RAW	v překladu (nezpracovaný)
USB	Universal Serial Bus v překladu (univerzální sériová sběrnice)
VO	veřejné osvětlení
R	Red (červená)
G	Green (zelená)
B	Blue (modrá)
š,v,h	šířka, výška, hloubka
λ [nm]	vlnová délka
Φ [lm]	osvětlenost
E [lx]	osvětlenost
L [cd/m ²]	jas
P [W]	výkon
T [°C]	teplota
t [s]	čas
U [V]	napětí

OBSAH

1	Úvod [1]	1
2	Zrakové vnímání člověka	2
2.1	Vidění při nízkých hladinách jasů	3
3	Měřicí přístroje pro vyhodnocování nízkých jasů.	6
3.1	Astronomická CCD kamera G2 4000	10
3.2	Canon EOS 350D	14
3.3	Programy pro vyhodnocování digitální fotografie	16
3.3.1	LumiDISP	16
3.3.2	LMK2000 mobile advanced	17
3.4	Situace, které lze měřit a vyhodnotit výše zmíněnými měřicími přístroji a programy	17
4	Přizpůsobení astronomické kamery na citlivost lidského oka	19
4.1	Optické filtry	20
5	Návrh měřicí aparatury pro dlouhodobá měření jasů noční oblohy	24
6	Měření jasů noční oblohy ve vybrané lokalitě	26
6.1	Důvody vedoucí k výběru této lokality	26
6.2	Zobrazení	27
6.3	Průběh měření:	28
7	Vyhodnocení dynamiky jasů noční oblohy	29
7.1	Celkový přehled vyhodnocení všech měření měření	38
8	Závěr	39
9	Seznam obrázků	40
10	Seznam literatury	41

1 Úvod [1]

Osvětlování různých objektů a míst může být prospěšné, ale taky nepříznivé. Jako prospěšné se dá vyzdvihnout dobře navržené osvětlování komunikací a chodníků, kde se tímto zvyšuje přehlednost a bezpečnost.

Naopak jako nepříznivé se jeví takové osvětlování, které je například přehnaně předimenzované, svítí přímo na oblohu, nebo svítí tam kde už by svítit nemělo. Jako příklad lze uvést osvětlování míst, kde vzniká světelné znečištění, což je situace, kde světlo svým svícením ruší noční tmu a oslňuje okolí. Tímto je znesnadněno astronomům i laikům pozorování noční oblohy.

Takovým nežádoucím jevům lze do jisté míry zabránit účelným směřováním světla a použitím vhodně cloněných svítidel, která nám zajistí, aby nebylo světlo vyzařováno přímo do horního poloprostoru.

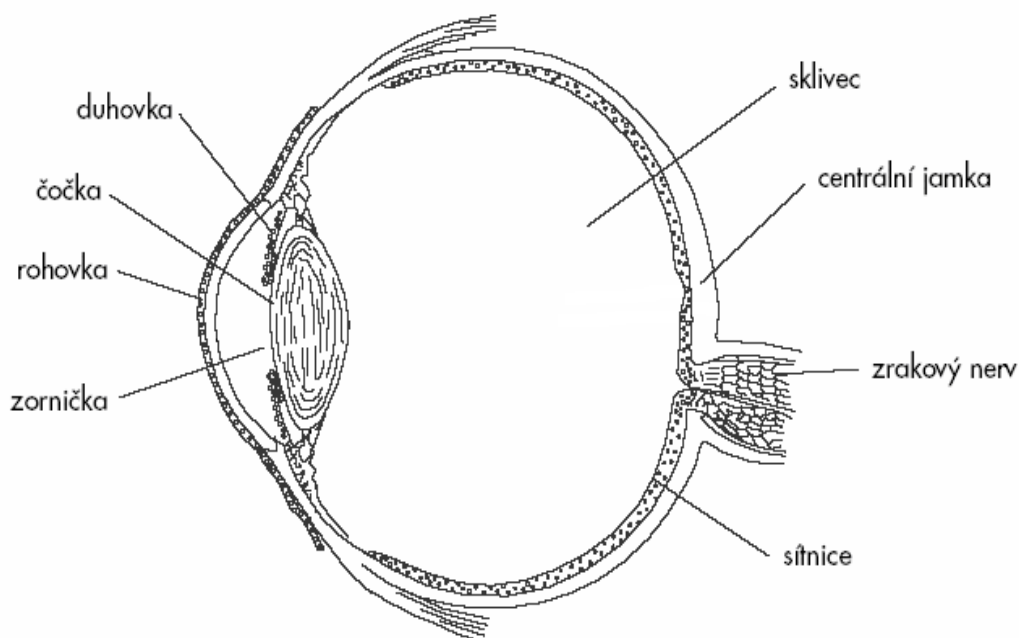
Rušivé světlo nedělá problémy pouze člověku, ale i zvířatům, hmyzu a rostlinám. U člověka může vyvolat narušení cirkadiálního rytmu tak, že oslňující světlo v prostoru způsobí pokles míry hormonu melatoninu, a zapříčiní tak znesnadnění spánku. U nočního hmyzu, který je přirozeně přitahován světlem měsíce mohou výkonné umělé světelné zdroje zapříčinit jeho dezorientaci.

Je tedy na místě, aby se lidé začali více zajímat o měření a vyhodnocování jasů s jeho následným normováním, které poskytne informace o tom zda-li je vyhodnocovaná situace z hlediska osvětlování příznivá či nikoliv. Poté se následně mohou nepříznivé situace řešit. Nabízí se mnoho řešení jako jsou změna reflektoru svítidla, výměna zastaralých svítidel za nová, možnost regulace svítidel, a podobně.

2 Zrakové vnímání člověka [2]

Jedním ze smyslů člověka je zrak. Ten člověku umožňuje vidět světlo různých barev. Zrakovým systémem rozumíme soubor složený z oka, zrakového nervu a příslušných zrakových center v mozku. Světlo prochází do oka přes čočku, rohovku a dopadá na sítnici. Sítnice je tvořena fotoreceptory mezi ně patří i tyčinky a čípky.

Aby došlo ke zrakovému vjemu musí se světelná energie proměnit v energii nervového vzruchu, tento proces vnímání probíhá hlavně v již zmíněných tyčinkách a čípcích. Počet tyčinek v oku je kolem 125 milionů, nachází se kolem žluté skvrny a slouží ke skotopickému (nočnímu) vidění. Čípku je v oku mnohem méně a to kolem 6,5 milionů, nachází se převážně ve žluté skvrně na sítnici a slouží k fotonickému (dennímu) vidění. Existuje i mezopické vidění, na tom se podílí jak tyčinky tak čípky souběžně.



Obr. (1) Oční bulva člověka

Oko jehož bulva je zobrazena na obrázku (1) má své hybné systémy a samohybné systémy, mezi ně patří akomodace a adaptace. Oko se samovolně přizpůsobuje vzdálenosti pozorovaného předmětu. Tento děj se nazývá akomodace a je prováděn zakřivením čočky.

Adaptace je děj při kterém se oko přizpůsobuje různým hladinám osvětlenosti. Oko je schopné přizpůsobit se osvětleností v rozmezí asi od 0,25 lx až do 10^5 lx

Adaptace je dvojitá a to na tmu a na světlo. Adaptace na tmu trvá asi 40 minut, adaptace na světlo trvá 5-7 minut.

Mezi adaptační mechanismy patří Fotopupilární reflex, při kterém dochází ke změnám průměru zorničky. Adaptace zraku probíhá také na sítnici, kde nastávají procesy nervové adaptace (na principu excitačně inhibičních interakcí v nervových sítích). Jejich cílem je vyrovnat se v co nejkratší době s nově vzniklou jasovou situací. Posledním mechanismem je fotochemická adaptace daná rozpadem a resyntézou pigmentů čípků a tyčinek.

Je také známo, že člověk vidí některé barvy za šera lépe. Tento jev se nazývá Purkyňův jev. U tohoto jevu dochází k tomu, že díváme-li se za šera současně na modrý a červený předmět, krátkovělné tóny modré jsou postupně zdůrazňovány na úkor dlouhovlnných červených. Zrak při přechodu do noci zlepšuje svoji schopnost rozlišovat některé barvy tím že současně zapojuje tyčinky do činnosti a tak se zvyšuje i světelná citlivost zraku.

Oko je schopno rozlišovat záření viditelného spektra, to odpovídá vlnovým délkám mezi 380 nm až 760 nm. Nejcitlivější je oko na vlnovou délku 555 nm, což odpovídá maximu vyzařování slunce. Při nočním vidění se posouvá citlivost na hodnotu 507 nm.

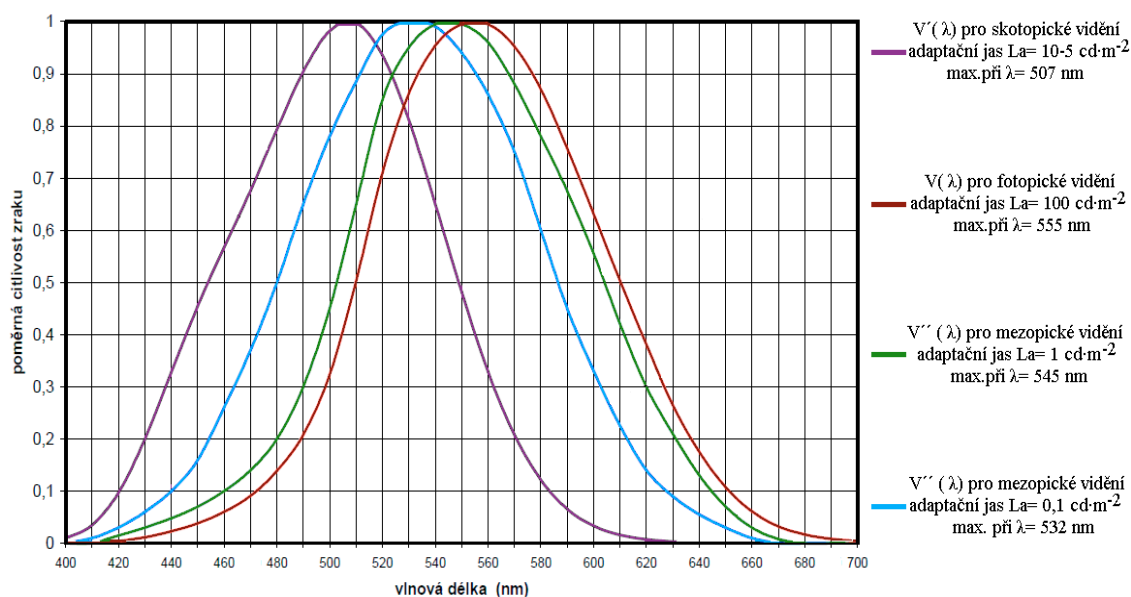
Barevné vidění funguje tak, že na sítnici jsou fotoreceptory citlivé - jedny na červenou barvu, druhé na zelenou barvu a třetí na modrou barvu. Zbylé barvy se tvoří smícháním těchto tří základních barev.

2.1 Vidění při nízkých hladinách jasů [3]

Jak již bylo zmíněno tak mezopické vidění je oblastí činnosti zraku mezi denním a nočním viděním, tudíž se k vidění uplatňují jak čípky tak tyčinky. Proto se musí zrak člověka přizpůsobovat jasům odpovídajícím oblasti mezi oběma druhy vidění. Pro denní vidění je stanovena hodnota adaptačního jasu od $3 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Na druhou stranu pro noční vidění jsou adaptační jasy nižší v hodnotách setin nebo dokonce tisícín $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

Pro vyhodnocování měření osvětlovacích soustav má největší význam fotopické vidění oproti skotopické vidění. Z toho vyplývá, že pro měření parametrů svítidel, světelných zdrojů a osvětlovacích soustav se běžně používají přístroje, jejichž poměrná spektrální citlivost se shoduje s dohodnutým průběhem poměrné spektrální citlivosti normálního fotometrického pozorovatele v podmínkách fotopického vidění.

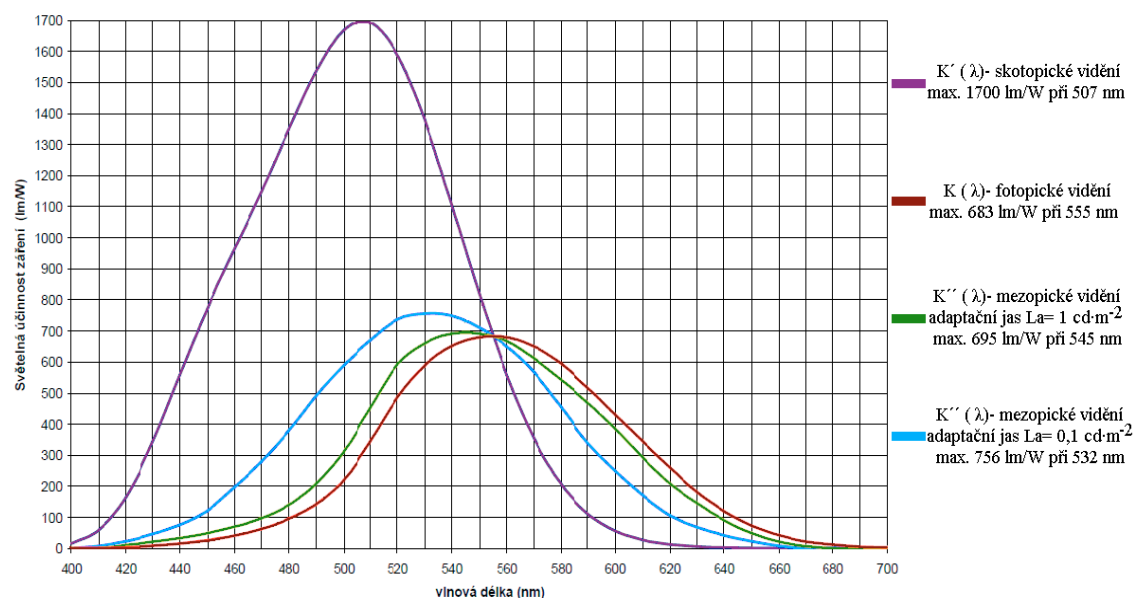
Vzhledem k jednotlivému charakteru citlivosti zraku člověka a potřebě spojení světelně technických výpočtů formulovala Mezinárodní komise pro osvětlování již zmiňovaný pojem Normální fotometrický pozorovatel. Vidění pozorovatele znázorňuje průběh poměrné spektrální citlivosti $V(\lambda)$ pro fotopické vidění, $V'(\lambda)$ pro skotopické vidění jak je patrné z obrázku (2).



Obr. (2) Průběhy poměrné spektrální citlivosti zraku k záření různých vlnových délek pro jednotlivé typy vidění

V prostorech pro běžné užívání, které jsou uměle osvětlené jsou adaptační jasy obvykle vyšší než $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Z toho důvodu se průběhy poměrné spektrální citlivosti jen nepatrně liší od křivky $V(\lambda)$ jak je vidět na obrázku (2).

V situaci, kdy jsou uměle osvětlovány venkovní prostory jsou adaptační jasy nižší a to v rozmezí kolem $0,1$ až $1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Pro tyto hodnoty jsou vyneseny křivky pro oblast mezopického vidění, které jsou vidět také na obrázku (2).



Obr. (3) Průběhy absolutních hodnot světelných účinností záření pro jednotlivé typy vidění

Na obrázku (3) jsou znázorněny průběhy spektrální světelné účinnosti zraku pro různé adaptační jasy umožňující převod energetických veličin záření na světelné technické veličiny. Je zřejmé, že pro různé hladiny adaptačních jasů pozorovatele se světelný tok odpovídající zářivému toku přírodního světelného zdroje může podstatně lišit.

Rozdíl mezi osobním hodnocením situace pozorovatelem a výsledky vědeckých fotometrických výpočtů nebo měření z hlediska vlivu spektrálního složení záření světelných zdrojů je možné vyhodnotit světelné toky zdrojů pro odlišné adaptační jasy. Zmíněné rozdíly pro teplotní světelné zdroje jsou poměrně malé oproti světelným zdrojům s čárovým spektrem kde nabývají až desetinásobných hodnot. Pro světelné zdroje, které vyzařují vlnové délky ve kterých je lidské oko nejcitlivější pro fotopickou oblast vidění nastává situace, že fotopickými přístroji naměříme vysoké hodnoty světelných veličin. Ale se zmenšením hladin osvětlenosti do oblasti mezopického vidění se zmenšuje i citlivost lidského zraku na tento druh záření a konečný dojem z osvětlení je zřetelně temnější ve srovnání s údaji fotopických přístrojů.

Pro představu jsou v tabulce(1) vypočteny světelné toky zvolených světelných zdrojů pro různé adaptační jasy zraku pozorovatele.

Tab. (1) Porovnání světelných toků různých typů světelných zdrojů při jednotlivých typech vidění

Vidění	Světelný zdroj			
	klasická žárovka 100 W	lineární zářivka 24 W/840	halogenidová výbojka 150 W/830	vysokotlaká sodíková výbojka 150W
	Světelný tok [lm]			
fotopické	1380	1750	14500	16700
skotopické	2730	2440	20080	10480
mezopické ($L_a = 1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	1390	1700	14200	15420
mezopické ($L_a = 0,1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	1510	1660	13940	13010

3 Měřicí přístroje pro vyhodnocování nízkých jasů. [4], [8]

K měření a vyhodnocování jasů lze použít digitální fotografie. Pomocí fotografie můžeme zaznamenat informace o daném objektu na daném místě a v daný časový okamžik. Poté, pokud jsou data uchována, si je můžeme zpětně a kdykoli znovu zobrazit. Dřívější fotoaparáty používaly pro vytvoření těchto informací analogový signál (kinofilm). V dnešní době je možné pomocí CMOS a CCD senzorů a AD převodníků převést analogový signál na digitální a ten pak následně upravovat a zpracovávat podle našich požadavků.

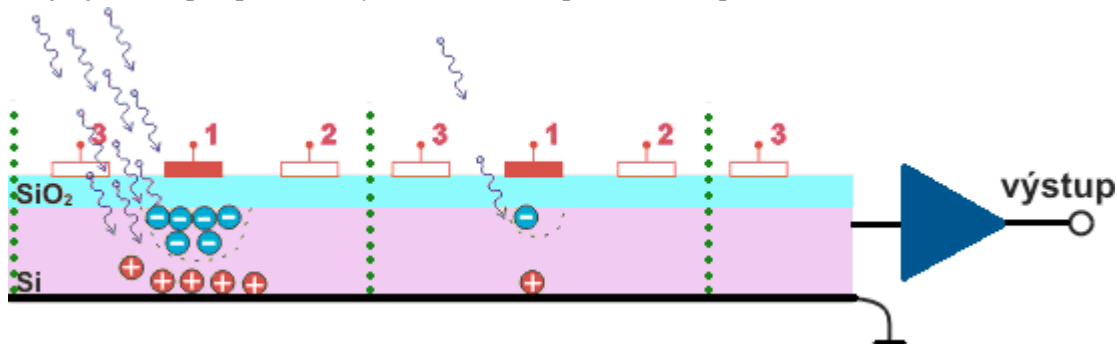
Digitální data zaznamenaná v obraze mají význam pro fotometrii jen tehdy, pokud známe jejich měřítko, tj. dokážeme je převést na známé fyzikální veličiny. U digitální fotografie existují prakticky dva atributy, jsou to geometrie a jas. Jas je určen hodnotou signálu na jednotlivých subpixelech a geometrie určuje polohu každého elementárního zdroje světla, který fotografie zachytila.

Senzory CMOS a CCD

Pro pořízení digitální fotografie se používá buď CCD senzor (Charge-coupled device) nebo CMOS senzor (Complementary metal–oxide–semiconductor). Tyto senzory se neliší konstrukčně nýbrž jen v následném zpracování signálu. Senzor CCD používá postupné (sekvenční) vyčítání plochy senzoru a ke svému fungování potřebuje více elektroniky kolem vlastního senzoru. Oproti tomu senzor CMOS, kterému se často říká Active-pixel senzor (APS) má potřebnou elektroniku integrovanou v sobě, proto jsou tyto senzory méně nákladné a taky méně náročné na energii.

Expozice obrazu

Na obrázku (4) jsou označeny čísla elektrody na které je přivedeno kladné napětí a na čip dopadá světlo (u digitálního fotoaparátu se otevře závěrka). Fotony, které dopadají na senzor vybudí v polovodiči elektrony, ty jsou následně přitahovány ke kladně nabitým elektrodám. V polovodiči nám zůstanou po elektronech tzv. díry, tyto proti svému okolí vykazují kladný náboj a jsou naopak přitahovány elektrodou ve spodní části čipu.



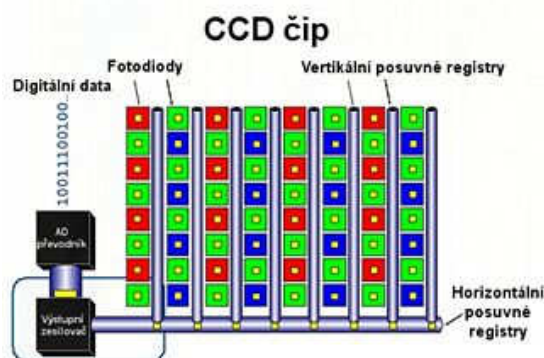
Obr. (4) Zobrazení dopadajícího světla na senzor a jeho následná přeměna na elektrický signál

Jednotlivé pixely z obrázku (4) jsou rozděleny pomocí tečkovaných čar. Je také vidět, že na pixel vlevo dopadlo více fotonů než na pixel vpravo, takže je u jeho elektrody shromážděno více elektronů.

Vytvoření barevného snímku

Pro vytvoření barevného snímku lze použít filtry. Nejčastěji se používá šachovitého uspořádání filtrů třech barev na jednom čipu jak je vidět na obrázku (5). Je také možné použít tři čipy, které budou mít každý jiný barevný filtr. Tato možnost se používá u některých digitálních kamer či projektorů. Barevný odstín, kterého je zapotřebí dosáhnout se získá složením tří základních barev použitých filtrů.

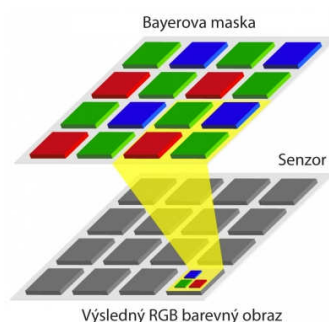
Barvy používané pro filtry mají označení RGB kde je: R - červená (red), G - zelená (green) a B - modrá (blue). Výstupy z jednotlivých pixelů jsou analogové, ale pomocí převodníku z analogového signálu na signál digitální se převedou do digitální (číslíkové) podoby. Jiné barvy a jejich odstíny se získají softwarově pomocí interpolace (odhadu) a to na základě barevné informace ze sousedních pixelů. Jeden pixel tedy nenese celou informaci o barvě a daný čip pak má samozřejmě snížené barevné rozlišení.



Obr. (5) Vytvoření barevného snímku pomocí interpolace

Bayerova maska

Jak již bylo zmíněno výše, pro filtry se používá nejčastěji barev RGB. Tak je tomu i u Bayerovy masky. Má-li senzor vidět barvy, musí se před jednotlivé pixely umístit RGB maska s tím, že barvy jsou uspořádány do matice a zelená maska je ve čtverci dvakrát, čímž se simuluje zvýšená citlivost oka na zelenou. Vzniká tzv. Bayerova RGBG maska jak je patrné z obrázku (6). Z uvedeného vyplývá, že 8 MPix fotoaparát má 2 miliony červených, 2 miliony modrých a 4 miliony zelených pixelů.



Obr. (6) Bayerová RGBG maska

Pro každý pixel výsledného obrazu se použijí čtyři sousední pixely senzoru a díky Bayerově masce se získá plnohodnotná barevná informace. Každý pixel senzoru je však použit 4x a obraz se tedy interpoluje.

RAW formát

Snímky pořizované ve formátu RAW jsou ve fotoaparátu minimálně zpracovány, proto nezatěžují obrazový procesor fotoaparátu. Data ze senzoru po zesílení pomocí nastavení ISO citlivosti putují do A/D převodníku. Z A/D převodníku jsou ihned ukládána na paměťovou kartu. Takto uložená data je pak nutné dále zpracovat pomocí programu v počítači.



Obr. (7) Uložení dat ve formátu RAW a JPEG

Na obrázku (7) je patrné srovnání zpracování dat obdržených ze senzoru ve formátu RAW a ve formátu JPEG. Formát JPEG je mezi uživateli více používán protože data na paměťové kartě zabírají méně místa. Výhodou formátu RAW je větší dynamický rozsah a to díky neprovedené gamma korekci a logaritmicizaci. Formát RAW má také výhodu, že pracuje s 12 či 14 bitovou barevnou hloubkou oproti formátu JPEG, který pracuje jen s 8 bity.

Dynamický rozsah senzoru

Digitální fotoaparáty mají schopnost regulovat světlo dopadající na senzor. Tato regulace se provádí nastavováním expozičního času a clony individuálně pro každou scénu. Dopadající světlo na senzor odpovídá hodnotě napětí, které může nabývat určité maximální hodnoty. Maximální hodnota napětí ze senzoru odpovídá jeho dynamickému rozsahu. Na pixel může dopadat více světla, které by mělo odpovídat hodnotě napětí větší než je maximální hodnota napětí. Tento pixel nabude maximální hodnoty napětí, ta se dále nezvyšuje a není možné zjistit kolik světla ve skutečnosti dopadlo na pixel. V tomto případě nelze zjistit skutečnou hodnotu jasu a buňka nepracuje správně. Naopak rozsahu, kde buňky senzoru pracují správně se říká dynamický rozsah senzoru. Může nastat problém, a to když se v nasnímané scéně objeví současně místa s hodně velkým a hodně malým jasnem. Tato scéna má velký dynamický rozsah a v takovém případě bude pokaždé několik buněk mimo dynamický rozsah.

Nežádoucí jevy, které můžou nastat při pořizování snímků je ISO šum nebo blooming

- **ISO šum**

U senzorů se dá nastavit i citlivost změnou ISO. Čím vyšší nastavíme ISO, tím bude senzor citlivější, ale taky se začnou více projevovat poruchy, jako například tepelný šum. Ten se projeví šumem v obraze a zapříčiní v něm náhodné barevné body. Některé digitální zrcadlovky dokážou při nastavení vyššího ISO vzniklý šum redukovat patřičným výpočtem, ale na úkor pomalejšího zpracování snímku.

- **Blooming**

Dopadající světlo na maticově uspořádané pixely senzoru vytváří elektrony, které se následně převádějí na elektrický náboj. Blooming je situace, která nastává tehdy, když na senzor dopadá příliš intenzivní světlo. Začne se vytvářet velké množství elektronů, a ty přetečou do okolních buněk. Vzniknou tak přeexponované bílé plošky poškozující i okolní kresbu. Blooming lze částečně potlačit antibloomingovými obvody, které částečně odvádějí nadbytečné elektrony ze senzoru.

3.1 Astronomická CCD kamera G2 4000 [5], [6]



Obr. (8) astronomická kamera G2 4000

Astronomická CCD kamera G2 4000 se používá jako vysoce citlivý analyzátor jasů. Základem pro chod astronomické kamery G2 4000 je propojení kamery s osobním počítačem pomocí něhož je prováděno řízení kamery, transport a uložení snímku. Toto propojení se provádí pomocí USB rozhraní. Kamera také potřebuje externí napájecí zdroj k napájení elektroniky kamery a k chlazení CCD čipu. Ke kameře musí být také připojen nějaký optický systém jako například dalekohled nebo v našem případě fotografický objektiv s bajonetem Canon EOS.

CCD čip



Obr. (9) Čip CCD typ KAI-4022

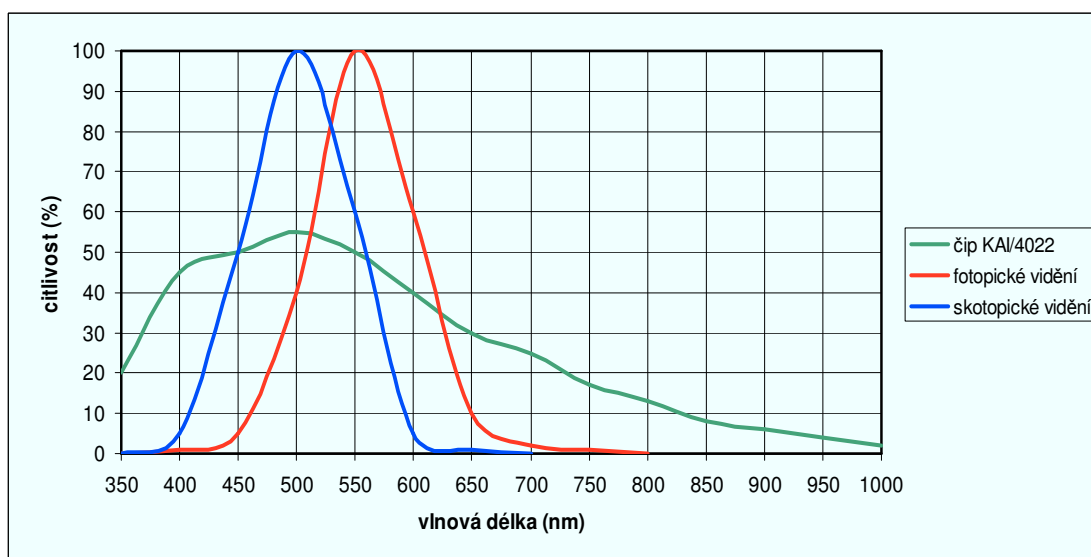
Dopadající světlo na čip vytváří v polovodiči elektrický náboj (elektrony). Na čipu jsou vytvořeny svislé negativní potenciálové zábrany (odpuzující elektrony), takže se vytvořené elektrony po dopadu světla nemohou volně pohybovat. Systém vodorovných elektrod, rovněž s negativním nábojem, vytváří na čipu mřížku tzv. „potenciálových studní“, z nich elektrony nemohou uniknout. Každá potenciálová studna vytváří jeden obrazový bod tzv. pixel, tedy nejmenší čtvereček obrazu. Počet pixelů v horizontálním a vertikálním směru stejně jako velikost pixelu tvoří jedny z nejzákladnějších charakteristik CCD čipu. Pixely vystavené většímu množství světla naakumulují více elektronů a naopak. Jedna ze základních výhod CCD čipů ve srovnání s lidským okem tedy je schopnost akumulace náboje po dlouhou dobu. Tyto čipy tak mohou postupně nashromáždit dostatek světla i z velmi slabých světelných zdrojů.

Když se na elektrody přivede různé napětí, elektrony mohou být „přelévány“ z jedné nábojové studny do sousední. Tento proces je používán, když je potřeba informaci z CCD čipu vyčíst. Balíky elektronů, reprezentující jednotlivé pixely, jsou posouvány do výstupního zesilovače, kde je elektrický náboj převeden na napětí. Toto napětí se objeví na výstupním pinu CCD čipu. Elektronika kamery pak musí toto napětí změřit dále převést na číslo pomocí analogově/digitálního převodníku, pro každý pixel. Informace o náboji akumulovaném v každém pixelu tvoří datový soubor reprezentující obrázek.

Parametry CCD čipu kamery:

CCD čip	KAI-4022
Rozlišení	2056 x 2062 pixelů
Velikost pixelu	7,4 x 7,4 μm
Rozměry čipu	15,2 x 15,2 mm
ABG*	ano
Barevný čip	ne
Plná kapacita pixelu	kolem 40000 e^-
Plná kapacita výstupu	kolem 80000 e^-
Temný proud	0,3 $e^-/\text{s/pixel}$ při 0 $^{\circ}\text{C}$
Zdvojení temného proudu	7 $^{\circ}\text{C}$

* ABG = Anti-Blooming elektroda, zabraňuje přetékání náboje do sousedních pixelů při přexponování



Graf (1) Citlivost čipu KAI/4022 při určitých vlnových délkách v porovnání s křivkou fotopického a skotopického vidění

Elektronika kamery:

V kameře je použit 16 bitový A/D převodník, který používá korelované dvojité vzorkování čímž zajišťuje velký dynamický rozsah a čtecí šum na úrovni samotného CCD čipu. Kamera může komunikovat s počítačem pomocí USB rozhraní na vzdálenost pěti metrů. Pro delší vzdálenosti je možno použít aktivní USB kabel.

A/D převodník

Analogově/ digitální převodník je nejdůležitější součástí při zpracování digitální fotografie. Každý pixel senzoru měří množství světla (fotonů), které na něj dopadá. Výstupem však není číslo, ale velikost elektrického napětí, které je úměrné světlu. Toto napětí je však dosti malé a musí být nejprve zesíleno, aby bylo možné ho dále zpracovat. Míra zesílení tohoto základního napěťového signálu ze senzoru je nastavována pomocí zvolené ISO citlivosti. Po zesílení signálu na vhodnou úroveň se analogové napětí z každého pixelu převede na číslo (Digit). K tomuto převodu slouží A/D převodník, který změří napětí a přiřadí mu číslo. Přesnost A/D převodníku se vyjadřuje v bitech, přičemž 8 bitový převodník má k dispozici 256 diskretních úrovní (0 až 255). CCD kamera G2 4000 má 16 bitový převodník, což odpovídá 65536 různým úrovním, které jsou pak uloženy v RAW formátu. Počtu bitů se říká barevná hloubka. Čím více bitů má A/D převodník k dispozici, tím jemněji jsou zaznamenány barvy.

Parametry A/D převodníku:

Rozlišení	16bitů
Vzorkování	korelované dvojité vzorkování
Čtecí módy	standardní nebo nízkošumový
Vodorovný binning	1 až 4 pixely
Svislý binning	1 až 4 pixely
Čtení podoblastí	libovolná podoblast
Rozhraní	USB 2.0 nebo USB 1.1

Chlazení CCD čipu

CCD čip se chladí pomocí dvou stupňů peltiérových článků, které lze regulovat. Tyto články dokážou ochladit CCD čip až o 50°C pod okolní teplotu a to s přesností $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Horkou stranu Peltiérových článků je zapotřebí chladit ventilátorem, který je umístěn na zadní straně těla kamery. Kamera je osazena dvěma tepelnými senzory jenž měří jak teplotu CCD čipu tak teplotu vzduchu který chladí horkou stranu Peltiérových článků. Chlazení je závislé jak na okolních podmínkách tak i na kvalitě napájení ze zdroje jehož napětí by mělo být 12 V a nemělo by pod tuto hodnotu klesat, jinak poklesne i maximální tepelný rozdíl.

Napájecí zdroj

Kamera potřebuje ke svému chodu napájení stejnosměrným zdrojem s napětím 12 V, které může být realizováno síťovým adaptérem, nebo baterií. Kamera dokáže napájecí napětí měřit a jeho hodnotu odesílat ovládacímu programu. Spotřeba kamery je 30W, ale zdroj by měl mít 60 W z důvodu zajištění stability napájení.

Mechanické specifikace

Kamera má kompaktní a robustní tělo, které měří 114 x 114 x 77 mm. Je vybavená USB – B konektorem a konektorem pro stejnosměrné napájení. Integrovaná mechanická závěrka umožňuje vyčítání obrazů bez rozmazání. Vybavení kamery obsahuje také integrované filtrové kolo mající pět pozic pro standardní 1,25 palcové filtry v objímkách se závitem.



Obr. (10) napájecí konektor (vlevo) a USB konektor (vpravo)



Obr. (11) filtrové kolo s 5 pozicemi

3.2 Canon EOS 350D [7]



Obr. (12) Tělo fotoaparátu Canon EOS 350D, pohled zepředu (vlevo), pohled zezadu (vpravo)

Digitální jednooký zrcadlový fotoaparát Canon EOS 350D je používán jako analyzátor jasů. Hlavním prvkem fotoaparátu je senzor CMOS zobrazený na obrázku (13) vlevo. Fotoaparát se také neobejde bez objektivu, paměťové karty zobrazené na obrázku (13) vpravo a akumulátoru s nabíječkou (obrázek(14)).



Obr. (13) Senzor CMOS, paměťová karta SanDisk typu CompactFlash

Používaná paměťová karta typu CompactFlash Extréme III je jedna z nejrychlejších karet nabízená na trhu co do zapisování dat na kartu a čtení dat z karty. Tyto karty umožňují uživateli pracovat s velkými objemy fotografovaných dat (v tomto případě až 4GB). Baterie dodávaná k fotoaparátu (typu Li-ion) má kapacitu 720 mAh a napětí 7,2 V.



Obr. (14) Baterie Canon typu NB-2LH (Li-ion), nabíječka Canon

Senzor CMOS má oproti CCD senzoru většinu elektroniky integrovanou přímo v sobě. Z tohoto důvodu jsou méně nákladné a méně náročné na energii.

Jasový analyzátor Canon EOS 350D slouží jako mobilní přenosné měřicí zařízení. Mobilitu zajišťuje napájení z akumulátoru a ukládání snímku na paměťovou kartu. Tento měřicí přístroj se ovládá manuálně a proto je vhodný pro krátkodobá měření. K měření je vhodné používat stativ, který nám zajistí stabilitu měřicího přístroje. Pro vyhodnocení zaznamenaných snímků v RAW formátu je zapotřebí použít software LMK2000.

Parametry fotoaparátu Canon EOS 350D

Celkem pixelů	8,2 magapixelů
Efektivní pixely	8,0 megapixelů
Velikost snímku	22.2 x 14,8 mm
Poměr stran obrazu	3:2
Systém filtru	RGB
Formát snímku	JPEG, RAW (12 bit)
Video výstup	NTSC/PAL
Rozhraní	USB 2.0

K měření je vhodné používat stativ, který nám zajistí stabilitu měřicího přístroje. Pro vyhodnocení zaznamenaných snímků v RAW formátu je zapotřebí použít software LMK2000.

Při měření je možno rozšířit dynamický rozsah jasového analyzátoru nastavením úrovně expozice např. na ± 2 , přičemž se scéna zaznamená na tři samostatné snímky s úrovněmi -2.00 EV, 0.00 EV, +2.00 EV a ve vyhodnocovacím programu se pak separují pixely s nejnižšími (podexponovanými) a nejvyššími (přeexponovanými) hodnotami.

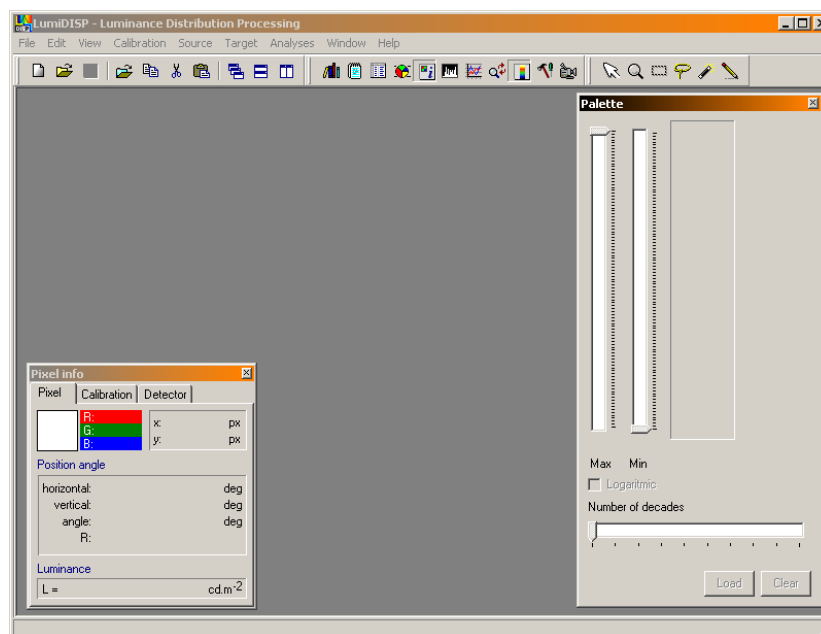
Buňky, které budou přeexponované (oslepené) budou kódovat podle Bayerovy masky svoji maximální barvu a proto hovoříme o přepálené červené, zelené či modré. Budou-li přepálené všechny okolní buňky tvořící jeden pixel, hovoříme o přepálené bílé.

3.3 Programy pro vyhodnocování digitální fotografie

V praxi je práce s klasickými jasoměry poměrně přesná, ale v použití pro souhrnné analýzy jsou tyto metody příliš zdlouhavé. Možnost jak řešit tento problém je použití nových metod pomocí kterých můžeme hodnotit osvětlovací soustavy. Jednou z těchto metod je použití softwaru jehož cílem je počítačové zpracování dat a jejich následné uložení pro další potřeby. V rámci této práce se jedná o programy LMK 2000 mobile advanced a LumiDISP.

3.3.1 LumiDISP [9]

Systém LumiDISP představuje technologii pro fotometrické měření jasů a jeho distribuce. Tento systém obsahuje měřicí přístroj, program LumiDISP, zapotřebí je i databázový stroj FireBird, a setový kufr obsahující různé doplňky.



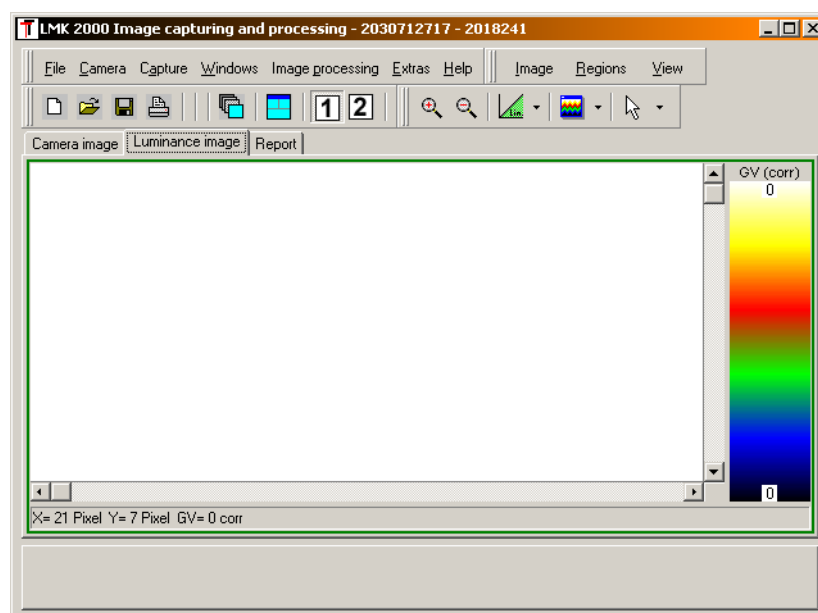
Obr. (15) Okno programu LumiDISP

Samotný program LumiDISP jehož okno je zobrazeno na obrázku (15) nám umožňuje z pořízeného snímku získat hodnoty jasů pro každý pixel. Pořízený snímek může být načten z formátu JPEG nebo RAW. Dále ho program převede na jasovou mapu. Uživatel si může navolit v tomto programu zdali bude možné odečítat hodnoty jasů z každého bodu (pixelu) jednotlivě, nebo program vypočítá průměrnou hodnotu jasů dané expozice. Pro jednoduchý přehled a odečítání hodnot je možné, aby program jasové mapě přiřadil paletu barev, kde každá barva odpovídá určité hodnotě jasů.

3.3.2 LMK2000 mobile advanced [10]

Systém LMK mobile advanced je hodně podobný systému LumiDISP. Obsahuje měřicí přístroj, program LMK2000 a setový kufr obsahující různé doplňky.

Okno programu je zobrazeno na obrázku (16). Vyhodnocování snímků probíhá podobně jako u systému LumiDISP. Může se tedy vyhodnocovat hodnota jasů jakéhokoliv pixelu dané expozice a nebo je možnost, aby program vyhodnotil minimální, maximální a průměrnou hodnotu buď celé expozice nebo vybrané oblasti. Vybraná oblast může mít obdélníkový, kruhový, polygonální a nebo bodový (vícebodový) tvar. Zachycená scéna musí být pořízena pouze ve formátu RAW. Nejčastěji se používá tří snímků, kde je jeden snímek normální a pak jsou ještě pořízeny dva snímky a to přeexponovaný a podexponovaný. Takto zachycená scéna nám umožní zvětšit rozsah vyhodnocovaného jasů expozice.



Obr. (16) Okno programu LMK 2000 mobile advanced

3.4 Situace, které lze měřit a vyhodnotit výše zmíněnými měřicími přístroji a programy [9]

Rovnoměrnost jasů, jasové řezy

Rovnoměrnost jasů je nejčastějším ukazatelem při posuzování jasového rozložení. Jasy, které jsou vnímány zorným polem pozorovatele by neměly být vzhledem k průměrné hodnotě moc velké ani moc malé. Nepochybně zde musí být určité jasové rozdíly, jenž zaručí dobrou viditelnost (čitelnost) pozorovaných objektů a hlavně jejich detailů. Jasovým řezem rozumíme zjišťování průběhu jasů na příslušné čáře a to v daném směru a souřadnici.

Osvětlení dopravních komunikací a tunelů

Mezi dopravní komunikace patří například pěší zóny, cesty, dálnice a můžou se zde zařadit i tunely. Použití jasového analyzátoru při měření a vyhodnocování osvětlení komunikací na nichž je velmi důležitá rovnoměrnost jasu se využívá z mnoha důvodů. Nejpodstatnějším je doba měření, která je velmi krátká, takže se na komunikaci nemusí skoro vůbec omezovat provoz. Časové rozdíly mezi běžným měřením a měřením jasovým analyzátozem jsou velké.

Osvětlení přechodů pro chodce

Správně navržené osvětlení přechodu pro chodce zvyšuje bezpečnost chodců na přechodu. Jde o to, aby se dosáhlo určitého kontrastu mezi chodcem a pozadím za přechodem. Chodec musí být dobře viditelný pro jedoucího řidiče. Při posuzování osvětlení přechodu je vhodné posoudit také vliv světlometů vozidel jedoucích k přechodu z obou směrů.

Hodnocení zobrazovacích zařízení

Zde lze zařadit měření a vyhodnocování projekčních zařízení, kvality displejů a monitorů, palubních zobrazovacích přístrojů a v poslední řadě i proměnné světelné dopravní značení.

Hodnocení svítidel

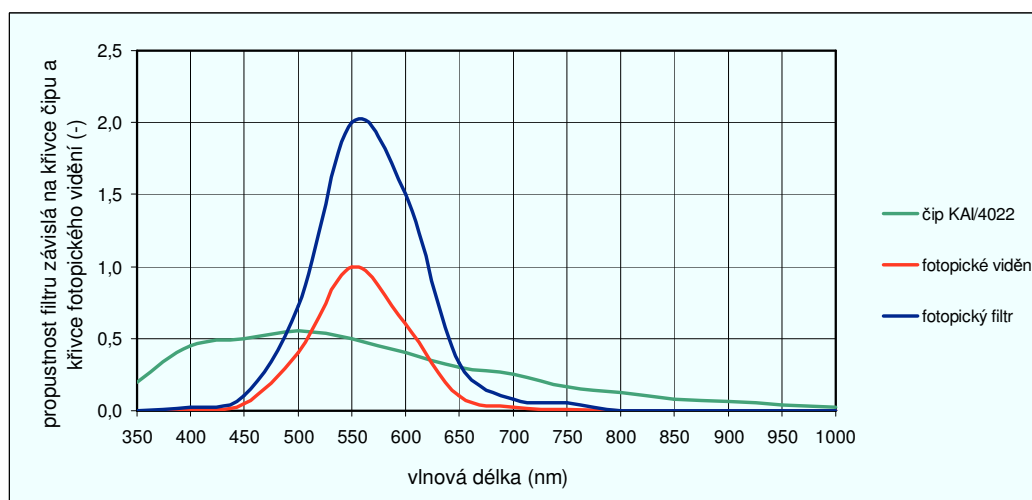
Pro účely těchto hodnocení se měří svítivosti svítidel jasovým analyzátozem, který měří rozložení světelné stopy svítidla. Dále se pak pomocí speciálních algoritmů dopočítají vyzařovací čáry svítivosti, které jsou důležitým parametrem svítidel.

Posuzování světelných zdrojů

Pomocí Jasového analyzátoru je možné rovněž pozorovat vysoce intenzivní jas světelných zdrojů. Zde je možné zařadit posuzování svítivých diod, zářivkových trubec a nebo s použitím sekvenčního snímání, je možné zachytit náběh výbojky.

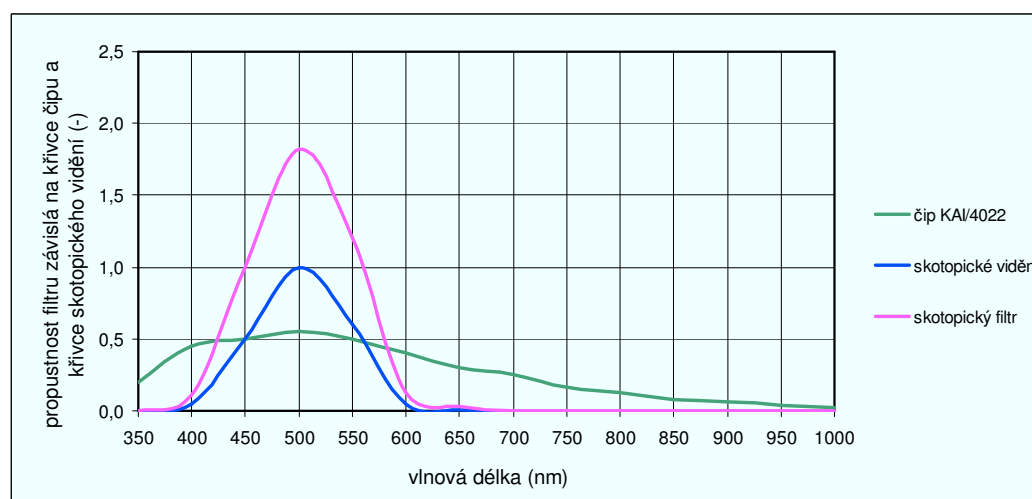
4 Přizpůsobení astronomické kamery na citlivost lidského oka

CCD kamera má podle výše zmíněného v kapitole č.3 senzor, který má svojí křivku citlivosti v závislosti na určitých vlnových délkách. Tato křivka je zobrazena na grafu (2) - zelená barva. Abychom mohli měřit v oblastech, kde je lidský zrak nejcitlivější, musíme kameru přizpůsobit pomocí optického filtru. Tento filtr by měl propouštět vlnové délky v rozmezí šířky křivky fotopického vidění, nejvíce však kolem hodnoty 555 nm, kde je lidské oko nejcitlivější. Zbylé vlnové délky by měly být utlumeny. Navrhovaná křivka propustnosti filtru je rovněž zobrazena na grafu (2) - modrá barva, kde je pro srovnání zobrazena i křivka pro fotopické vidění - červená barva.



Graf (2) Křivka propustnosti navrhovaného filtru pro přizpůsobení kamery pro fotopické vidění

Tímto způsobem lze přizpůsobit kameru jakémukoliv rozmezí vlnových délek. Na grafu (3) je stejným způsobem jako v minulém případě navrhována křivka propustnosti filtru pro skotopické vidění – růžová barva.



Graf (3) Křivka propustnosti navrhovaného filtru pro přizpůsobení kamery pro skotopické vidění

4.1 Optické filtry [11]

Pro pochopení toho jak lze astronomickou kameru přizpůsobit citlivosti lidského oka je v této podkapitole vysvětleno pár pojmů z oblasti optických filtrů a jejich funkčnosti.

Optickým filtrem můžeme nazvat optické prostředí, propouštějící nějakou oblast spektra světelných vln a zachytávají jiné spektrální oblasti. Dále známe kromě tohoto optických filtrů ještě takzvané neutrální filtry, ty mají za úkol zeslabovat sílu propouštěného světla a to rovnoměrně ve jakýchkoli spektrálních oblastech.

Jak už bylo zmíněno v kapitole o zrakovém vnímání člověka, sítnice oka reaguje na světelné záření o vlnových délkách, mezi 380 nm a 760 nm vnímáním charakteristických barev.

Světlo prošlé filtrem může změnit své složení způsobené polarizací, rozptylem, interferencí nebo absorpcí. S kvalitou filtrů souvisí i to jestli a jak se bude dopadající světlo na povrch filtru od něho odrážet. Každý filtr má své vlastnosti:

- Rozptylnost (S) udává kolik světla se působením filtru rozptýlí.
- Odrazivost (R) udává kolik světla dopadajícího na filtr se od něj odrazí.
- Absorpce (pohlcování) (A) udává jak velká část světla v jednotlivých vlnových délkách, se tímto filtrem zachytí.
- Propustnost (T) udává kolik světla určitých vlnových délek tento filtr propustí.

Všechny výše uvedené vlastnosti filtru jsou vyjádřeny čísly mezi 0 až 1 a platí mezi nimi vztah:

$$T + A + R + S = 1 \quad (1)$$

Filtry s vrstvou odrazivého materiálu (hliník, chrom) na svém povrchu mají vysokou odrazivost (R) a slouží jako ochranné filtry sloužící k pozorování slunce. Koeficienty propustnosti filtrů pro individuální vlnové délky se uvádí v podobě grafů, nebo tabulek.

Typy optických filtrů

Asi nejstarším typem optického filtru je kapalinový filtr. Takový filtr má podobu ploché nádoby, která se naplní kapalinou mající nějakou patřičnou barvu a koncentraci. Výhodou těchto filtrů je to, že se může měnit kdykoliv barva a koncentrace kapaliny uvnitř filtru.

Tyto filtry se jen v oblasti laboratorních experimentů.

Skleněný filtr

Skleněné filtry jsou vyráběny z optického skla. Tyto skla se barví přísadami určitých prvků. Např. kadmium zabarvuje sklo na žluto, oranžovo až červeně, cesium dává rubínové zabarvení, oxidy mědi barví sklo na zeleno a modro, oxidy železa dávají žluté, oranžové a zelené zabarvení atd. Kvalitnost těchto filtrů se pozná podle toho, jestli má obě plochy rovnoběžně opracované a vyleštěné. Největší nároky jsou kladeny na filtry, které se umísťují před objektiv dalekohledu nebo jiného přístroje. Odchylka v rovnoběžnosti ploch u těchto filtrů nemá přesahovat 10'. Filtry, které se umísťují před, nebo za okulárem, je velikost přípustné nepřesnosti 1,5°. Sklo filtru musí být bez bublin a homogenní. Vyráběny jsou ve formě kulatých destiček, ty jsou pak vložené do kovové objímky, která se upevňuje pomocí závitu, na objektiv přístroje. Jejich průměry jsou závislé na průměrech objektivů. Větší průměry můžeme použít i před objektivem menších dalekohledů, menší filtry vkládáme před, nebo za okulár. Je také možné jednotlivé filtry spojovat a získat tak vhodnou kombinaci pro oddělení užších spektrálních oblastí světla. Filtry pro fotoaparáty se vyrábějí v široké škále barev od červené, oranžové, žluté, zelené, modré až po šedé neutrální typy.

Želatinový filtr

Želatinový filtr je tvořen tenkou vrstvičkou želatiny, která se pomocí organických barviv přírodně zabarví a vloží mezi dvě destičky skla, nebo mezi průhledné plastové fólie. Nevýhodou těchto želatinových filtrů je to, že mohou vyblednout, zdeformovat se a nebo se roztopí vlivem vyšších teplot. Naopak mezi výhody patří jejich snadná příprava a jejich široká škála barev.

Druhy filtrů:

Monochromatické:

- Interferenční filtry jsou založené na principu interference světla. Zpočátku se světelný paprsek rozdělí na dvě složky tak, aby tyto dvě složky přecházeli každá různě dlouhými drahami, čímž bude dosaženo vzájemného posunutí jejich vlnových fází. Následně se obě složky spojí a dojde ke sečtení, nebo odečtení obou amplitud a tím k zesílení, nebo k zeslabení světla v určitých spektrálních oblastech. Filtry tohoto druhu jsou konstruovány tak, že na skleněnou destičku se ve vakuu napaří vrstvička stříbra, na ni se nanese vrstva dielektrika v šířce délky vlny světla a na ni opět vrstva stříbra. Dalšího zúžení propustnosti se dosáhne připojením skleněného barevného filtru.

- Interferenční polarizační filtry jsou velmi účinné, ale zároveň vyrobené poměrně složitě. Využívají rozdílu v rychlosti světla v dvojlomných materiálech (např. v křemenu) a polarizace. Filtry se skládají ze série křemenných destiček, které se střídají s polarizačními destičkami. Šířka křemenných členů postupně narůstá, takže poslední dosahuje šířky až několik centimetrů. Tyto filtry umožňují izolovat velmi úzkou oblast spektra v rozsahu 0,1 až 0,05 nm.

Širokopásmové:

- Barevná skla, která slouží pro různé účely (pro signální lampy, barevné osvětlení, jako ochranné filtry při sváření), mají charakter skleněného filtru, protože propouští světlo určité vlnové délky. Jejich použití v astronomii je omezené nedostatky v homogenitě skla, jeho zabarvením a i tím, že jejich plochy nejsou přesně rovné a rovnoběžné. Mohou posloužit jako náhrada optického filtru, ale jen při umístění mezi okem a okulárem, kde se jejich nedostatky nejméně projeví.
- Polarizační filtry jsou založené na polarizaci světla. Obyčejné světlo kmitá ve všech směrech, které jsou kolmé ke směru, kterým postupuje světelný paprsek. Použitím některých optických prostředků můžeme kmity světelných vln usměrnit do jedné roviny kolmé k jeho ose. Takové světlo nazýváme světlem polarizovaným. Polarizované světlo můžeme získat odrazem od vhodné plochy pod určitým úhlem, lomem a dvojlomem.

Rozdělení filtrů podle funkcí:

Korekční filtry

Korekční filtry používáme na to, abychom snížili negativní vliv chromatické vady objektivu dalekohledu. Při přechodu světla spojnou čočkou se krátkovlnná složka světla spojí do ohniska v kratší ohniskové vzdálenosti než dlouhovlnné paprsky. Projevuje se to tím, že obrázek hvězdy v zorném poli přístroje má barevné okraje, které se mění od barvy červené až po fialovou podle toho, jak postupně posouváme okulár směrem k objektivu. Každá barevná složka bílého světla vytváří po průchodu neachromatickým objektivem vlastní ohnisko.

Dvojčočkové achromatické objektivy pro vizuální pozorování spojují do společného ohniska vlnové délky 653 nm a 480 nm, na které je lidské oko nejcitlivější. V případě, že barevná korekce není dokonalá, můžeme pomocí barevného filtru omezit tento nedostatek a získat tak kvalitnější obraz. Podle toho, jak se projevuje nedostatečná barevná korekce objektivu, mají obrazy modré až fialové okraje (při tzv. překorigovaném objektivu), nebo zelené až červené okraje (při podkorigovaném objektivu). Použitím filtru doplňkové barvy můžeme barevnou vadu omezit za tu cenu, že obraz získá zabarvení podle použitého barevného skla. Při pozorování v omezené spektrální šířce světla barevným filtrem můžeme pro některé účely použít i jednoduchý neachromatický objektiv. Ostatní optické vady, které odstraňuje dvojitý objektiv, však v tomto případě zůstávají nekorigované.

Ochranné nebo zeslabující filtry

Ochranné nebo zeslabující filtry mají za úlohu chránit oko pozorovatele nebo čidlo citlivého přístroje před příliš intenzivním zářením (pozorování Slunce, Měsíce, planet). Filtry tohoto druhu většinou neovlivňují spektrální složení přecházejícího světla, ale jen jeho intenzitu.

Selekční filtry

Selekční filtry mají za úkol omezovat v určitém množství světlo určitých vlnových délek, které propouštějí, zatímco ostatní složky zadržují. Rozsah vlnových délek propuštěného světla může být široký (filtry širokopásmové), nebo užší (filtry úzkopásmové) případně může být omezený jen na určitou vlnovou délku (filtry monochromatické). Když má filtr zabezpečit pozorování jen v určité spektrální oblasti, jde o filtr selekční, když je úlohou filtru umožnit lepší rozlišení dvou struktur, hovoříme o filtru kontrastním.

Fyzikální a fyziologické působení filtrů:

Optické filtry, které se používají při zrakových pozorováních tvoří nové zrakové pozorovací podmínky. Podle teoretických úvah by tyto podmínky nemusely být vždy pozitivní v porovnání s pozorováním bez filtrů. V závěrečném výsledku přeci jen přímým, nebo nepřímým způsobem ovlivňují rozlišování pozorovaných jevů a můžou tak zprostředkovat určitý přírůstek informací.

5 Návrh měřicí aparatury pro dlouhodobá měření jasů noční oblohy

V rámci této diplomové práce byla pro návrh měřicí aparatury jako měřicí přístroj vybrána astronomická CCD kamera G2 4000. Tato kamera musí být přizpůsobena filtrem, aby křivka citlivosti kamery odpovídala křivce lidského oka pro určitý druh vidění. Pro filtry a možnost jejich následné rychle výměny lze použít i pětipoziční výměňkové kolo, do kterého se vloží více filtrů. Jedna pozice však bude zaslepena, aby bylo možné senzor kamery přes den chránit proti ostrému slunečnímu svitu. Je také nutné vybrat správný objektiv. Pro zachycení celé oblohy je nejvhodnější zvolit objektiv typu rybí oko, který dokáže zobrazit zorný úhel o velikosti 180° ve všech směrech. Z tohoto důvodu produkuje tento objektiv kruhový obraz. Zvolený objektiv se připojí ke kameře pomocí dodatečně přidaného adaptéru pro objektivy Canon.



Obr. (17) Objektiv-rybí oko a adaptér pro objektivy Canon

Takto vybavený měřicí přístroj se musí umístit do rozváděčové krabice pro venkovní použití s krytím IP65. Krabice s takovýmto krytím je prachotěsná a je chráněná proti proudům vody. Měla by mít nahoru odklopná dvířka na pantech, aby byl zajištěn přístup k měřicímu přístroji. Ve středu dvířek je potřeba vykrojit kulatý otvor o průměru deseti centimetrů pro povystřčení objektivu. Na odklopné dvířka se umístí kopule ve tvaru polokoule vyrobená z průhledného materiálu. Takovou kopuli je problém sehnat, protože většina výrobců nedokáže vyrobit půlkulovou kopuli tak, aby měly stěny průhledného materiálu stejnou tloušťku. V tomto případě se použije půlkulová kopule nabízená na trhu, která má stejnou tloušťku průhledného materiálu, ale má menší nedostatek. Tím je velikost průměru polokoule, který je půl metru. Na spodní straně je ještě pěti centimetrové olemování. Z toho vyplývá, že rozváděč bude muset mít čtvercový tvar o délce hrany minimálně pětapadesát centimetrů. Uváží-li se taky madla pro otvírání dvířek, budou výsledné rozměry rozváděče 600x600x200 mm (š,v,h) jak je zobrazeno na obrázku (18) vlevo. Na dno krabice se umístí konzola pro upnutí kamery a taktéž i úchytky pro připevnění síťového adaptéru, ten bude napájet kameru.



Obr. (18) Rozvaděčová krabice

Rozvaděč musí mít také na boku dvě kabelové vodotěsné vývodky pro přívod elektrické energie a datový USB kabel. Datový kabel nám umožní propojit měřicí přístroj s počítačem na vzdálenost maximálně pěti metrů, pro propojení na větší vzdálenost musíme uvažovat s aktivním USB kabelem nebo použít aktivní USB rozbočovač.

Počítač, který bude komunikovat s kamerou a budou se do něj ukládat data (snímky) je vhodné umístit do vnitřních prostor budovy na niž bude umístěna měřicí aparatura. Pokud to bude možné, může se počítač připojit do počítačové sítě, aby měly osoby provádějící měření snadný přístup k naměřeným datům (snímkům) a mohli si je kdykoliv uložit na svůj počítač. Program SIMS dodávaný ke kameře nám umožňuje ovládat čas uzávěrky kamery a měnit filtry otáčením výměňkového kola uvnitř těla kamery. Pořizování snímků je možné zautomatizovat nastavením ovládacího programu.

Takto navržená měřicí aparatura je vhodná pro dlouhodobá měření z jednoho stanoviště, je odolná proti povětrnostním vlivům a může automaticky zaznamenávat snímky noční oblohy. Záleží pouze na osobách provádějících měření jaký si v programu navolí filtr, jaký nastaví čas pořizované expozice a v jakém časovém intervalu se snímky budou pořizovat.

Uvažuje se také, že by se mohla tato měřicí aparatura používat i pro jednodenní měření v jiných lokalitách. Po převozu automobilem na měřicí stanoviště se může řešit problém elektrického napájení pomocí střídače, který bude napájen z akumulátoru umístěného v automobilu. V tomto případě se budou měřená data ukládat do přenosného počítače (notebooku).

6 Měření jasů noční oblohy ve vybrané lokalitě

Pro účely měření byla vybrána obec Písek. Ta se nachází na východě České republiky poblíž Česko-polsko-slovenského trojmezí.



Obr. (19) Zobrazení polohy obce Písek na mapce ČR

6.1 Důvody vedoucí k výběru této lokality

Obec se rozkládá v nadmořské výšce 420 m, což je docela výhoda pro měření oproti obcím a městům v dolinách. Zalesněný terén Beskyd nám zaručuje, že zde nenarazíme na smog. V samotné obci nejsou nasvícené žádné památky ani budovy, je zde malá hustota veřejného osvětlení a tedy i minimální rušivé světlo.

Tyto důvody nám zajišťují skoro ideální podmínky pozorování a měření noční oblohy. Jediný parametr ovlivňující měření je počasí.

Pro měření byl zvolen Systém LMK mobile advanced. Systém obsahuje měřicí přístroj, v tomto případě je to fotoaparát (digitální zrcadlovka) Canon EOS 350D, používaný jako jasový analyzátor. Dále tento systém obsahuje program LMK2000 pro vyhodnocování měření.

Měřicí stanoviště bylo vybudováno na střeše rodinného domku jehož GPS souřadnice jsou:

Loc: 49°33'43.994"N, 18°48'51.719"E .Stativ měřicího přístroje byl upevněn ke komínu a tím získal velmi pevné ukotvení. Na stativ se upevnil fotoaparát vybavený objektivem typu rybí oko. Následně byl fotoaparát vyvážen do vodorovné polohy tak, že objektiv směřoval vzhůru k obloze a tato jeho poloha byla pevně zafixována. Místo mačkání spouště na fotoaparátu se používá v takovýchto případech dálkově řízená spoušť, aby nedošlo k pohybu fotoaparátu.

Počasí v době měření bylo příznivé. Do půlnoci bylo nepatrně zamračeno, o půlnoci se skoro vyjasnilo a k ránu se objevil na obloze nepatrný opar. Noční teploty se pohybovaly kolem 10°C a přetrvávalo bezvětří.

6.2 Zobrazení mapy vybrané lokality a jeho okolí

Žlutočernou šipkou je na obrázku (20) vyznačeno místo ze kterého bylo prováděno měření jasů noční oblohy. Dlouhou červenou čarou jsou vyznačeny hranice států. Rovněž červenou barvou jsou podtrženy názvy měst, které vytvářejí rušivé umělé světlo. Nejvíce se projevilo rušivé umělé světlo z města Jablunkova (na západní straně), které je nejbližší měřicímu stanovišti. Dále se na vyhodnocování jasů noční oblohy nepatrně projevilo rušivé umělé světlo ze zahraničí. Z Polska se projevila vesnice Istebna (na východní straně), město Wisła (na severo-východní straně) a ze Slovenska je to město Čadca (na jižní straně).



Obr. (20) Mapa vybrané lokality pro měření

6.3 Průběh měření:

Měření jasů noční oblohy probíhalo dne 29.4.2011 od 21:00 hodin do 4:00 hodin dne 30.4.2011.

Fotoaparát byl nastaven takto:

- | | |
|------------------------|------------------------------|
| • citlivost ISO | 100 |
| • velikost clony | 4.0 |
| • vyhodnocení expozice | vyhodnocení celého pole |
| • čas expozice | manuální ovládání (3 minuty) |
| • počet snímků | jeden |
| • kvalita snímků | RAW+L |

Po nastavení jasového analyzátoru bylo provedeno automatické zaostření objektivu pomocí funkce autofocus. Objektiv se zaostřil díky vyčnívající televizní anténě která je také umístěná na střeše domku. Poté se funkce automatického zaostřování objektivu přepnula na manuální režim, aby byly všechny snímky pořízené fotoaparátem stejně zaostřené. Tímto bylo vše připraveno pro měření.

Samotné měření probíhalo v časovém intervalu jedné hodiny. Jednotlivé snímky se pořizovaly fotoaparátem s manuálním nastavením na výše uvedené hodnoty. Čas expozice byl předem stanoven na tři minuty. Spoušť fotoaparátu se ovládala dálkovým ovládáním a proto se musel již zmíněný čas expozice měřit ručně. Celkem bylo pořízeno osm snímků v časech 21:00 hod., 22:00 hod., 23:00 hod., 00:00 hod., 01:00 hod., 02:00 hod., 03:00 hod., 04:00 hod.

Po celou dobu měření je velice důležité sledovat na displeji fotoaparátu histogram pořízených snímků a vyvarovat se přexponovaným pixelům. Tím si zajistíme použitelnost pořízených snímků pro účely vyhodnocení.

7 Vyhodnocení dynamiky jasů noční oblohy.

Noční obloha se neustále mění (je tedy dynamická). Změny jsou způsobeny počasím (oblačnost, vlhkost, opar oblohy), východem a západem slunce, pohybem objektů (hvězdy, měsíc, meteority, družice) a taky spaliny z letadel. Tyto změny je třeba brát v úvahu při vyhodnocování měření. Měření prováděné v rámci diplomové práce bylo částečně ovlivněno východem a západem slunce, nepatrnou oblačností a k ránu oparem oblohy. Od půlnoci k ránu se naskytla možnost pozorovat hvězdy.

Zpracování naměřených hodnot (zachycených scén) se provádělo v programu LMK 2000, který vyhodnotí všechny pixely jednotlivých snímků a vytvoří nám z nich jasové mapy. Tyto se můžou použít pro vizuální odečítání hodnot jasů. Hodnoty jasů se odečítají tak, že se porovnávají barvy z jasové mapy s barvami palety, kde je každé barvě přiřazena číselná hodnota. Vizuální odečítání dat je dobré pro vytvoření představy o jasových poměrech na noční obloze.

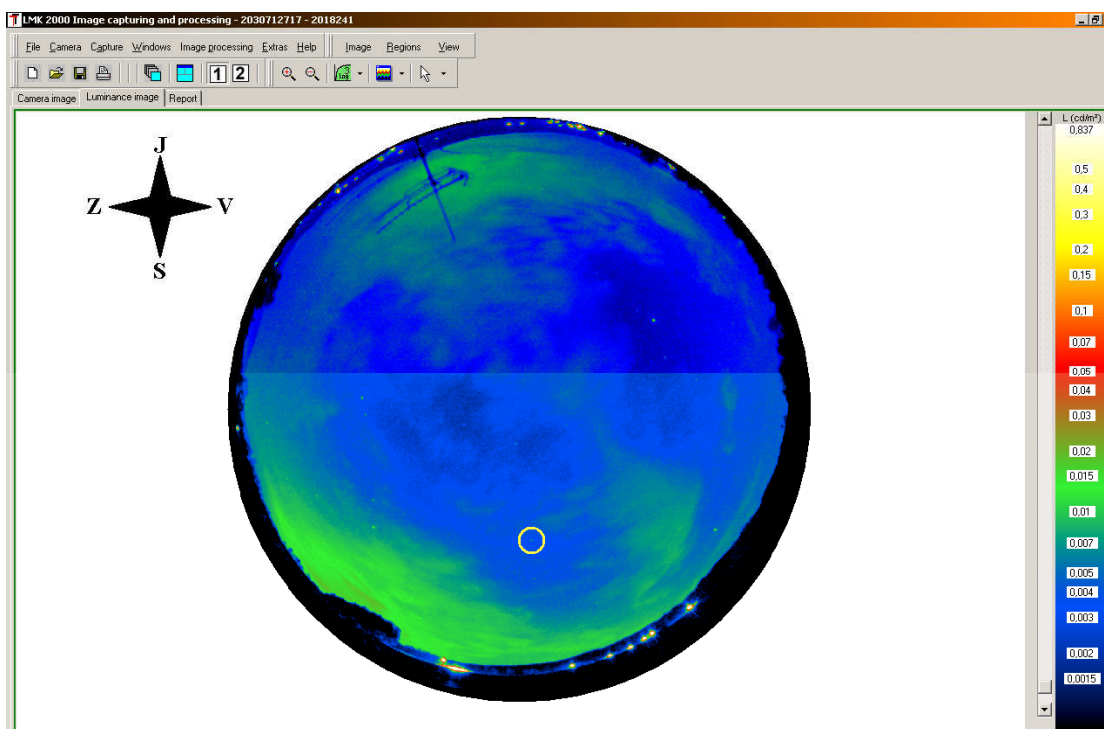
Druhý zvolený způsob vyhodnocení je takový, že nám program LMK2000 vypočítá a zobrazí pro každý snímek tyto veličiny a jejich hodnoty:

- minimální hodnota jasů pořízeného snímku noční oblohy L_{\min}
- maximální hodnota jasů pořízeného snímku noční oblohy L_{\max}
- průměrná hodnota jasů pořízeného snímku noční oblohy L_{pr}
- hodnota jasů zvolené hvězdy Severky L_{hs}
- zobrazení pohybu souhvězdí Velký vůz vůči nepohyblivé hvězdě Severce

Na pořízených snímcích není zachycena pouze noční obloha, ale na okrajích snímku je vidět i zemský horizont, který není rovný a rovněž je zachycena i velká televizní anténa. Proto se nemůže v programu LMK2000 pro celkové vyhodnocení jasů noční oblohy použít jednoduchý kruhový kurzor, ale musí se vytvořit kurzor pomocí polygonu. Pro lepší zobrazení vytvořených jasových map se v programu použije místo lineární funkce logaritmická funkce 3.

Pro orientaci na jasových mapách je potřeba dát si pozor na rozmístění světových stran, protože sever s jihem jsou přehozeny! Toto přehození dvou světových stran zapříčinilo zvolení objektivu typu rybí oko.

Měření noční oblohy č.1 pořízené dne 29.4.2011 v době 21:00 hodin



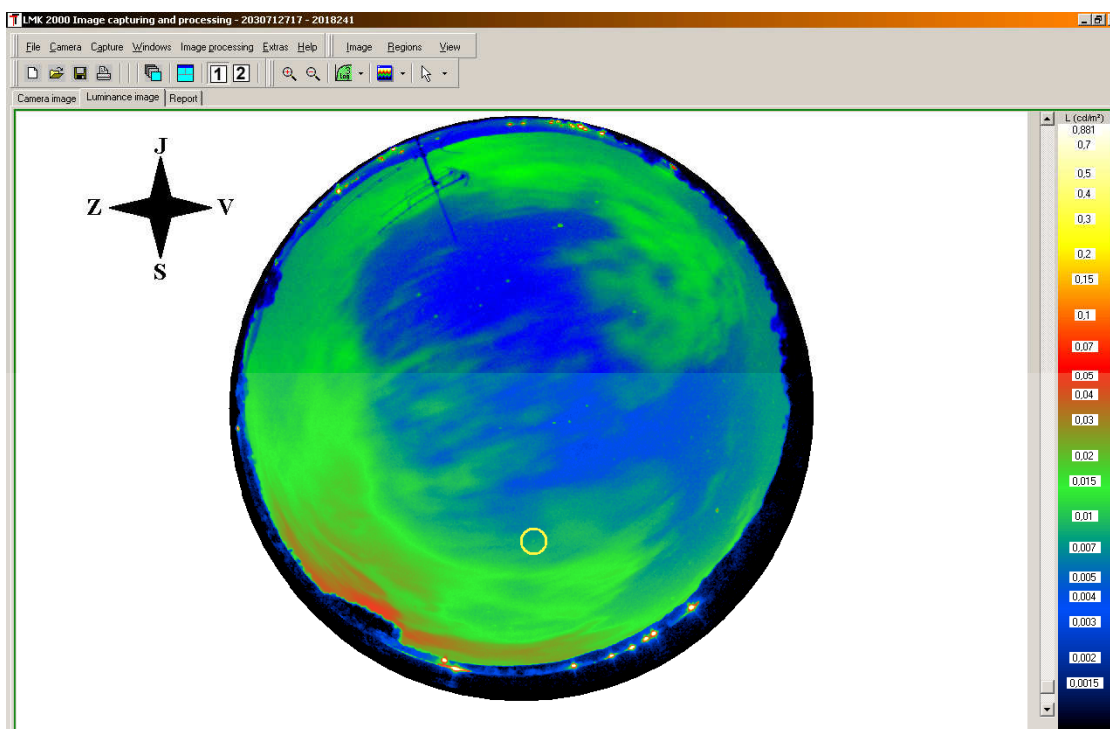
Obr. (21) Jasová mapa z programu LMK2000 pro pořízený snímek ve 21:00 hodin

Měření noční oblohy č.1 bylo provedeno třicet minut po západu slunce ve 21:00 hodin. Proto je vidět na jasové mapě vlevo dole zvýšený jas ($0,015 \text{ cd/m}^2$) způsobený západem slunce a do tohoto místa přispívá i rušivé umělé světlo města Jablunkova vzdáleného 5 kilometrů od místa měření. Obloha je nepatrně pokryta mraky na kterých se odráží světlo vyprodukované veřejným osvětlením sousedních obcí a měst. Za povšimnutí stojí zakroužkovaný objekt na obloze. Jedná se o již zmíněnou hvězdu Severku. Hodnota jejího jasů je ovlivněna u každého provedení měření zobrazena v tabulce ve které jsou i hodnoty minimálního, maximálního a průměrného jasů.

Tab. (2) Odečtené hodnoty jasů vyprodukované programem LMK2000

hodnoty jasů			
$L_{\min} [\text{cd/m}^2]$	$L_{\max} [\text{cd/m}^2]$	$L_{\text{pr}} [\text{cd/m}^2]$	$L_{\text{hs}} [\text{cd/m}^2]$
0,001675	0,02031	0,005165	0,007542

Měření noční oblohy č.2 pořízené dne 29.4.2011 v době 22:00 hodin



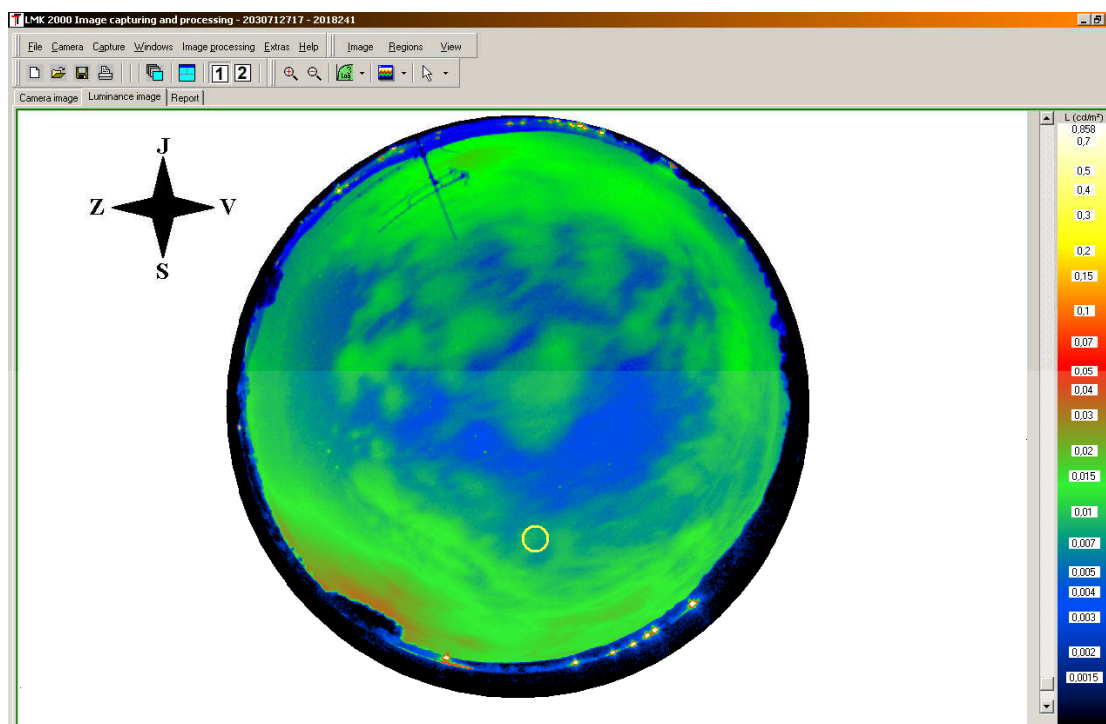
Obr. (22) Jasová mapa z programu LMK2000 pro pořízený snímek ve 22:00 hodin

Měření noční oblohy č.2 bylo provedeno ve 22:00 hodin, kdy už pominul vliv západu slunce. Na obloze přibyla oblačnost, což se projevilo ve zvýšení průměrné hladiny jasu noční oblohy (téměř dvakrát) oproti měření č.1. Dá se konstatovat, že s přibývajícím oblačností se účinky rušivého umělého světla více projevují na zvyšování jasu noční oblohy. Je to vidět i v tomto měření, kde přetrvává vliv umělého rušivého světla města Jablunkova, kde v té samé části jako u měření č.1 vznikl skoro čtyřnásobný jas noční oblohy. Jednoduše řečeno umělé rušivé světlo se více zobrazuje na přibývajícím oblačností. I v tomto případě je hodnota jasu hvězdy Severky ovlivněna oblačností.

Tab. (3) Odečtené hodnoty jasů vyprodukované programem LMK2000

hodnoty jasů			
L_{\min} [cd/m ²]	L_{\max} [cd/m ²]	L_{pr} [cd/m ²]	L_{hs} [cd/m ²]
0,00266	0,05073	0,009272	0,009572

Měření noční oblohy č.3 pořízené dne 29.4.2011 v době 23:00 hodin



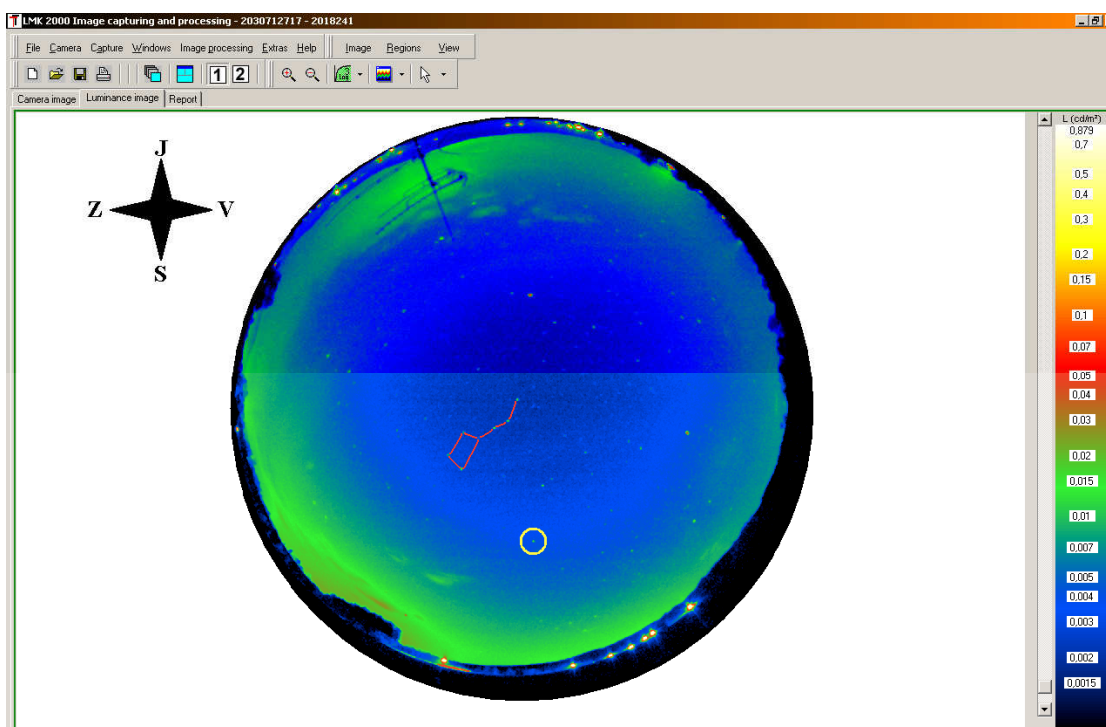
Obr. (23) Jasová mapa z programu LMK2000 pro pořízený snímek ve 23:00 hodin

Měření noční oblohy č.3 bylo provedeno ve 23:00 hodin, kdy nastala největší oblačnost ze všech měření. To má za následek, že nejsou vidět skoro žádné hvězdy, dokonce jas hvězdy Severky skoro splývá s jasnem v jejím okolí. Její poloha byla ve vyhodnocovacím programu přesně určena pomocí porovnání souřadnic pixelu ze všech měření. Takového určení polohy objektu je možné provádět jen tehdy pokud je měření provedeno přesně a nedojde k pohybu měřicího přístroje. Je taky

Tab. (4) Odečtené hodnoty jasů vyprodukované programem LMK2000

hodnoty jasů			
L_{\min} [cd/m^2]	L_{\max} [cd/m^2]	L_{pr} [cd/m^2]	L_{hs} [cd/m^2]
0,003189	0,03433	0,009375	0,009229

Měření noční oblohy č.4 pořízené dne 30.4.2011 v době 00:00 hodin



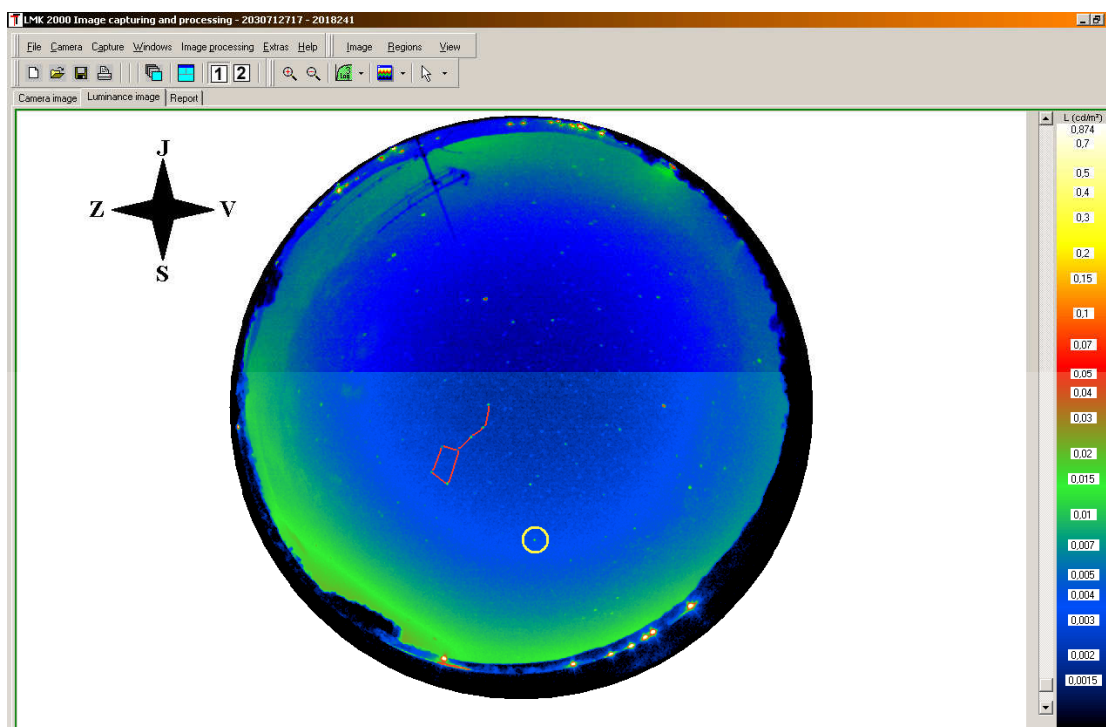
Obr. (24) Jasová mapa z programu LMK2000 pro pořízený snímek v 00:00 hodin

Měření noční oblohy č.4 bylo provedeno o půlnoci. Z jasové mapy tohoto měření je vidět, že se noční obloha krásně rozjasnila. Na jasové mapě se dají dobře vidět hvězdy. Vyznačení hvězdy Severky má u tohoto a následujících čtyř měření (č.5, č.6, č.7, č.8) dva významy. Prvním je měření jasu hvězdy a druhým je vyznačení této hvězdy jako statického bodu, aby bylo možné dobře pozorovat putování souhvězdí Velkého vozu vyznačeného červenou barvou.

Tab. (5) Odečtené hodnoty jasů vyprodukované programem LMK2000

hodnoty jasů			
L_{\min} [cd/m ²]	L_{\max} [cd/m ²]	L_{pr} [cd/m ²]	L_{hs} [cd/m ²]
0,001662	0,04827	0,005482	0,01176

Měření noční oblohy č.5 pořízené dne 30.4.2011 v době 01:00 hodin



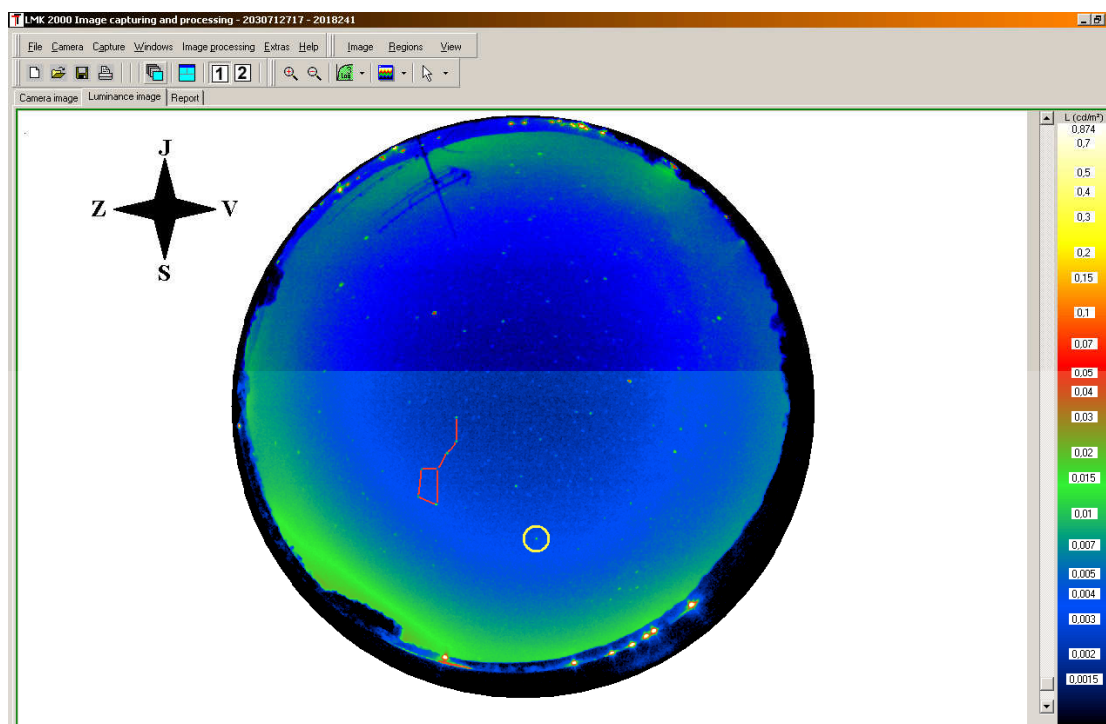
Obr. (25) Jasová mapa z programu LMK2000 pro pořízený snímek v 1:00 hodin

Měření noční oblohy č.5 bylo provedeno v 01:00 hodin. V tuto dobu se na noční obloze objevil nejjasnější bod tvořený jasem jedné z hvězd. Dá se říct, že celkový průměrný jas této jasové mapy se od tohoto měření ustálil na hodnotě která, až na drobné odchylky odpovídá i následujícím dvěma měřeními (č.6, č.7). Je zde zaznamenán první skokový pohyb souhvězdí Velkého vozu. Jas hvězdy Severky v tomto měření odpovídá skutečnému jasů této hvězdy a není ničím ovlivněn.

Tab. (6) Odečtené hodnoty jasů vyprodukované programem LMK2000

hodnoty jasů			
$L_{\min} [\text{cd/m}^2]$	$L_{\max} [\text{cd/m}^2]$	$L_{\text{pr}} [\text{cd/m}^2]$	$L_{\text{hs}} [\text{cd/m}^2]$
0,001339	0,05778	0,004919	0,01253

Měření noční oblohy č.6 pořízené dne 30.4.2011 v době 02:00 hodin



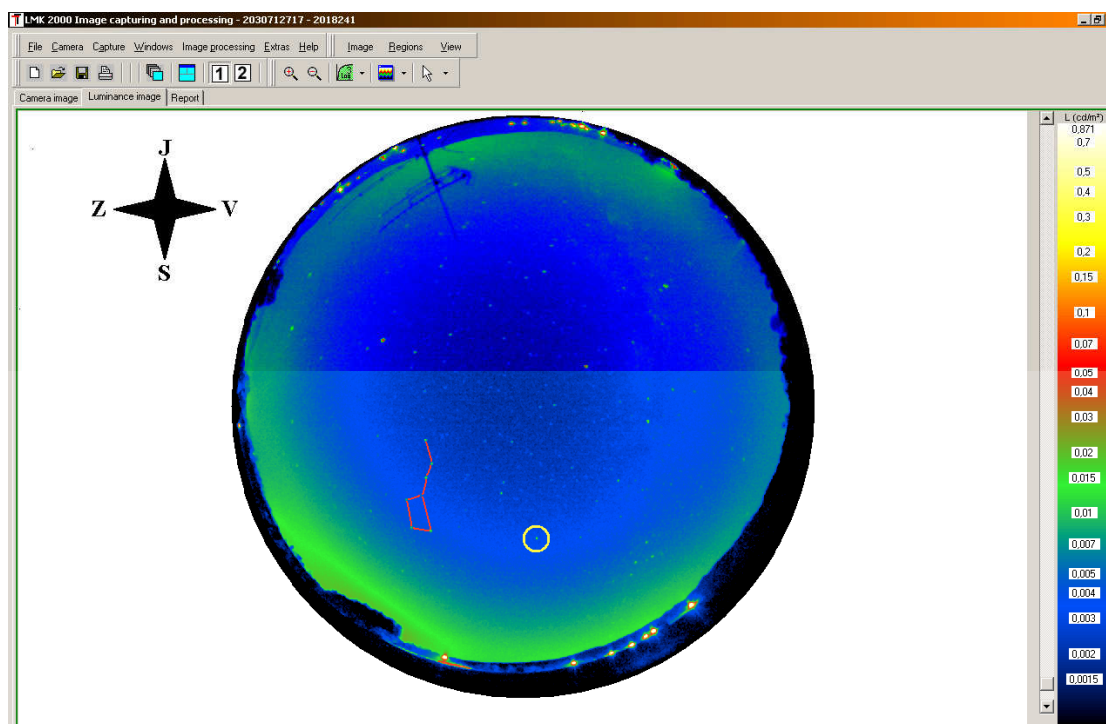
Obr. (26) Jasová mapa z programu LMK2000 pro pořízený snímek ve 2:00 hodin

Měření noční oblohy č.6 bylo provedeno ve 2:00 hodin, kdy nastala na obloze největší tma. To znamená, že hodnoty průměrného jasů se dostaly na nejnižší hodnotu. Jas hvězdy Severky zůstal od minulého měření stejný. Proto můžeme vzít v úvahu dohledávání pozic jakýchkoliv hvězd na noční obloze, jestliže si zjistíme její jas pomocí tohoto typu měření. Pak můžeme kdykoliv jestliže budou shodné podmínky měření, dohledávat hvězdy pomocí okamžitého vyhodnocování měření

Tab. (7) Odečtené hodnoty jasů vyprodukované programem LMK2000

hodnoty jasů			
$L_{\min} [\text{cd/m}^2]$	$L_{\max} [\text{cd/m}^2]$	$L_{\text{pr}} [\text{cd/m}^2]$	$L_{\text{hs}} [\text{cd/m}^2]$
0,001226	0,05612	0,004651	0,01251

Měření noční oblohy č.7 pořízené dne 30.4.2011 v době 03:00 hodin



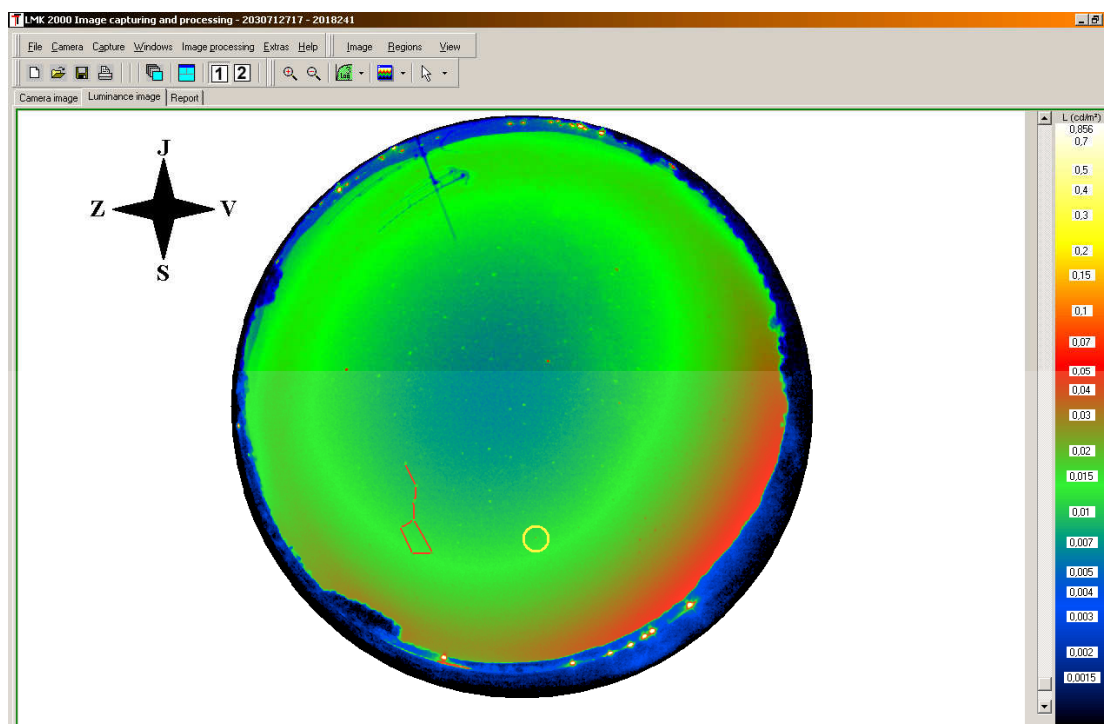
Obr. (27) Jasová mapa z programu LMK2000 pro pořízený snímek ve 3:00 hodin

Měření noční oblohy č.7 bylo provedeno ve 3:00 hodin. Výsledky tohoto měření jsou skoro shodné s měřením (č.5). Rozdíl je ve změně pozice souhvězdí Velkého vozu. Na této jasové mapě můžeme konečně vidět do jaké míry ovlivňují jas noční oblohy již zmíněná města a obce z minulé podkapitoly (6.2.). Největší světelné znečištění způsobuje v měřené lokalitě město Jablunkov, méně pak město Wisła a Čadca, a nakonec samotná obec Písek svým veřejným osvětlením.

Tab. (8) Odečtené hodnoty jasů vyprodukované programem LMK2000

hodnoty jasů			
L_{\min} [cd/m^2]	L_{\max} [cd/m^2]	L_{pr} [cd/m^2]	L_{hs} [cd/m^2]
0,001469	0,052	0,004875	0,01246

Měření noční oblohy č.8 pořízené dne 30.4.2011 v době 04:00 hodin



Obr. (28) Jasová mapa z programu LMK2000 pro pořízený snímek ve 4:00 hodin

Měření noční oblohy č.8 bylo provedeno ve 04:00 hodin a jednalo se o poslední měření, protože v pět hodin ráno už bylo slunce na horizontu a měření oblohy ztratilo význam. Na jasové mapě je vidět, že souhvězdí Velkého vozu doputovalo do poslední možné pozorovatelné pozice a hvězdu Severku je možné ještě lehce spatřit. Rovněž si jde všimnout na jasové mapě vpravo dole východu slunce vytvářející velký jas oblohy nad horizontem.

Tab. (9) Odečtené hodnoty jasů vyprodukované programem LMK2000

hodnoty jasů			
L_{\min} [cd/m ²]	L_{\max} [cd/m ²]	L_{pr} [cd/m ²]	L_{hs} [cd/m ²]
0,006282	0,05635	0,01549	0,02248

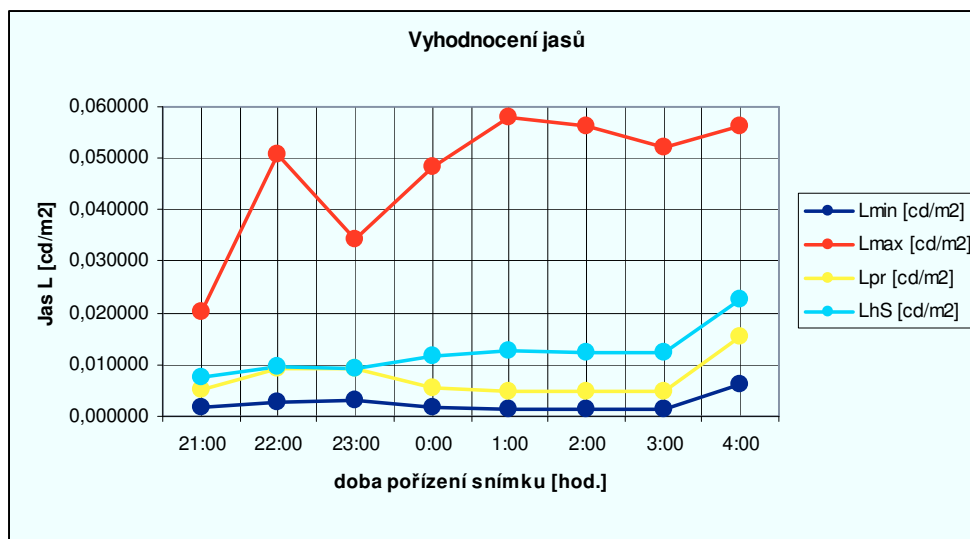
7.1 Celkový přehled vyhodnocení všech měření

V tabulce (10) jsou uvedeny hodnoty měřených jasů noční oblohy vyhodnocené programem LMK2000. Z této tabulky je patrné všechny naměřené jasy mají nízké hodnoty v řádech setin až tisícín.

Tab. (10) Hodnoty jasů noční oblohy a hvězdy Severky

doba pořízení snímku [hod.]	hodnoty jasů			
	L_{\min} [cd/m ²]	L_{\max} [cd/m ²]	L_{pr} [cd/m ²]	L_{hs} [cd/m ²]
21:00	0,001675	0,020310	0,005165	0,007542
22:00	0,002660	0,050730	0,009272	0,009572
23:00	0,003189	0,034330	0,009375	0,009229
0:00	0,001662	0,048270	0,005482	0,011760
1:00	0,001339	0,057780	0,004919	0,012530
2:00	0,001226	0,056120	0,004651	0,012510
3:00	0,001469	0,052000	0,004875	0,012460
4:00	0,006282	0,056350	0,015490	0,022480

Z hodnot v tabulce (10) byly vyneseny křivky do grafu (č.4), ze kterého je přehledně vidět naměřené hodnoty jasů v každé době měření.



Graf (4) Zobrazení vyhodnocení všech měřených veličin

8 Závěr

Cílem této diplomové práce je řešení problematiky měření a vyhodnocování nízkých úrovní osvětleností a jasů.

V první kapitole, která je zaměřená na teoretickou část, byly shrnuty poznatky o zrakovém vnímání člověka a vysvětleny pojmy s tím související. Byla zde taky uvedena část zabývající se viděním při nízkých hladinách jasu.

Druhá kapitola je velmi rozsáhlá, věnuje se systémům, které jsou tvořeny měřicími přístroji, jejich výbavou a programy pro vyhodnocení jasu. Zmíněny jsou i situace těmito systémy měřené a vyhodnocované.

Následuje třetí kapitola a v ní je rozvinutá myšlenka jakým způsobem se může přizpůsobit astronomická kamera na citlivost lidského oka pomocí optického filtru. S touto kapitolou souvisí i část v ní obsažená, která se zabývá teorií o optických filtrech.

Dále je ve čtvrté kapitole kompletní návrh měřicí aparatury pro dlouhodobá měření jasů noční oblohy, který bude realizován.

V posledních dvou kapitolách je řešena praktická část této diplomové práce. Ta má dva úkoly.

Prvním úkolem v praktické části bylo měření jasů noční oblohy. S touto částí souvisí výběr lokality pro měření, výběr měřicího přístroje, v neposlední řadě výběr programu pro vyhodnocení měření a samotné měření.

Druhým úkolem v praktické části bylo vyhodnotit a zpracovat naměřená data noční oblohy pomocí zvoleného programu.

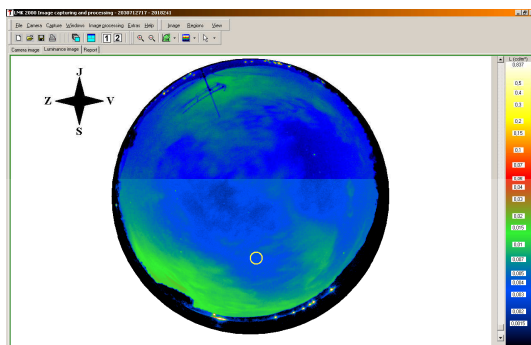
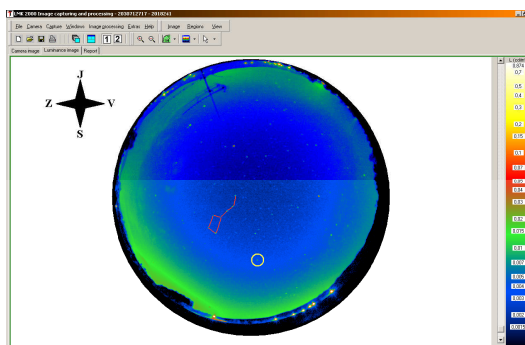
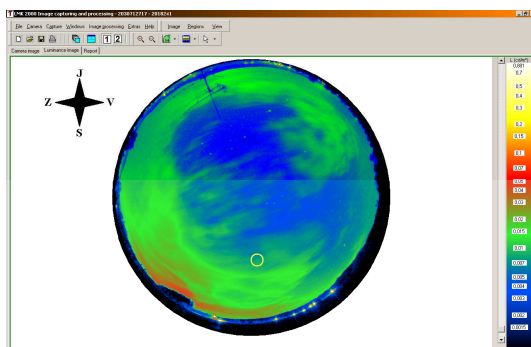
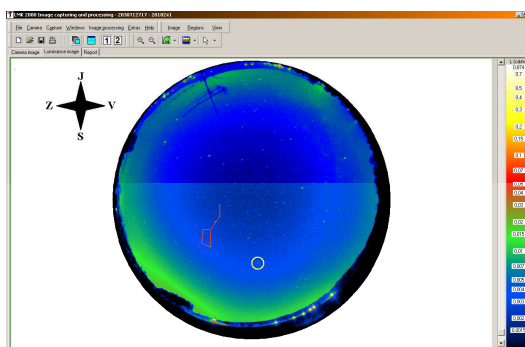
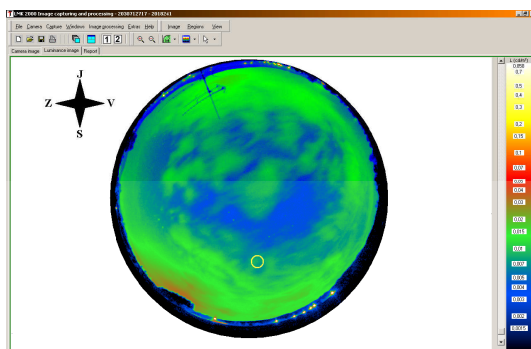
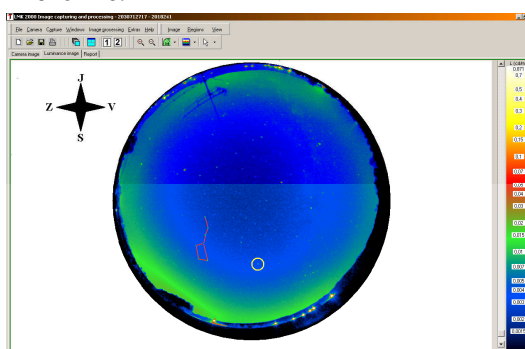
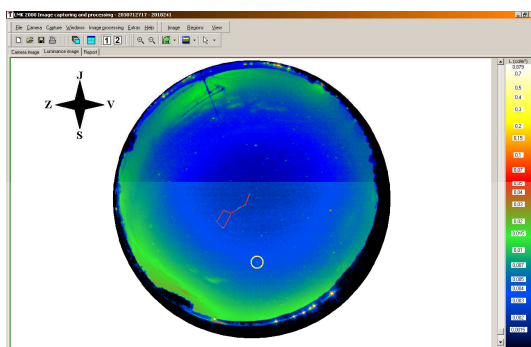
Data byla vyhodnocována pro každé měření zvlášť. Pro celkový přehled z měření je přiložena příloha, kde je možné vidět kompletní přehled všech vyhodnocených snímků.

9 Seznam obrázků

Obr. (1) Oční bulva člověka	2
Obr. (2) Průběhy poměrné spektrální citlivosti zraku k záření různých vlnových délek pro jednotlivé typy vidění	4
Obr. (3) Průběhy absolutních hodnot světelných účinností záření pro jednotlivé typy vidění	4
Obr. (4) Zobrazení dopadajícího světla na senzor a jeho následná přeměna na elektrický signál.....	6
Obr. (5) Vytvoření barevného snímku pomocí interpolace	7
Obr. (6) Bayerová RGBG maska	8
Obr. (7) Uložení dat ve formátu RAW a JPEG	8
Obr. (8) astronomická kamera G2 4000	10
Obr. (9) Čip CCD typ KAI-4022	10
Obr. (10) napájecí konektor (vlevo) a USB konektor (vpravo)	13
Obr. (11) filtrové kolo s 5 pozicemi	13
Obr. (12) Tělo fotoaparátu Canon EOS 350D, pohled zepředu (vlevo), pohled zezadu (vpravo)	14
Obr. (13) Senzor CMOS, paměťová karta SanDisk typu CompactFlash	14
Obr. (14) Baterie Canon typu NB-2LH (Li-ion), nabíječka Canon	15
Obr. (15) Okno programu LumiDISP	16
Obr. (16) Okno programu LMK 2000 mobile advanced	17
Obr. (17) Objektiv-rybí oko a adaptér pro objektivy Canon	24
Obr. (18) Rozvaděčová krabice	25
Obr. (19) Zobrazení polohy obce Písek na mapce ČR.....	26
Obr. (20) Mapa vybrané lokality pro měření	27
Obr. (21) Jasová mapa z programu LMK2000 pro pořízený snímek ve 21:00 hodin	30
Obr. (22) Jasová mapa z programu LMK2000 pro pořízený snímek ve 22:00 hodin	31
Obr. (23) Jasová mapa z programu LMK2000 pro pořízený snímek ve 23:00 hodin	32
Obr. (24) Jasová mapa z programu LMK2000 pro pořízený snímek v 00:00 hodin	33
Obr. (25) Jasová mapa z programu LMK2000 pro pořízený snímek v 1:00 hodin	34
Obr. (26) Jasová mapa z programu LMK2000 pro pořízený snímek ve 2:00 hodin	35
Obr. (27) Jasová mapa z programu LMK2000 pro pořízený snímek ve 3:00 hodin	36
Obr. (28) Jasová mapa z programu LMK2000 pro pořízený snímek ve 4:00 hodin	37

10 Seznam literatury

- [1] Cirkadi%C3%A1nn%C3%AD rytmusv. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 14. 5. 2009 , last modified on 2. 5. 2011 [cit. 2011-05-05]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Cirkadi%C3%A1nn%C3%AD_rytmusv>.
- [2] PALADIX foto-on-line [online]. 7.5.2003 [cit. 2011-05-03]. Barevné vidění: druhý pohled. Dostupné z WWW: <<http://www.paladix.cz/clanky/barevne-videni-druhy-pohled.html>>. ISSN 1213-5704.
- [3] HABEL, Jiří; ŽÁK, Petr. Význam mezopického vidění pro praxi. *SVĚTLO*. 2007, 6, s. 52-54.
- [4] PIHAN, Roman . FotoRoman [online]. 2003, 28.11.2010 [cit. 2011-05-05]. Slovník fotografických pojmů. Dostupné z WWW: <<http://www.fotoroman.cz/glossary2.htm>>.
- [5] CCD kamery pro astronomii [online]. 13.5.2010 [cit. 2011-05-04]. CCD kamery. Dostupné z WWW: <<http://ccd.mii.cz/art?id=361&cat=1&lang=405>>.
- [6] Manual Astronomická CCD kamera G2 4000
- [7] Instruction manual Canon EOS 350D, CT-1287-000, CANON INC. 2005
- [8] BAXANT, Petr; ŠKODA, Jan. Digitální fotografie a její využití ve světelné technice. *SVĚTLO*. 2010, 1, s. 47-49
- [9] BAXANT, Petr; SUMEC, Stanislav. *O LumiDISPu : systém pro vaše jasové analýzy* [online]. 2003 [cit. 2011-05-05]. Lumidisp. Dostupné z WWW: <<http://www.lumidisp.eu/>>.
- [10] Manual LMK mobil advance, TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, 2006
- [11] ZAJONC, Ivo. *Česká astronomická společnost : díl osmnáctý* [online]. 12.9.2009 [cit. 2011-05-05]. Teleskopie. Dostupné z WWW: <<http://www.astro.cz/clanek/4082>>.

Příloha A:**Srovnání vyhodnocených jasových map****Měření č.1****Měření č.5****Měření č.2****Měření č.6****Měření č.3****Měření č.7****Měření č.4****Měření č.8**